

TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISIS OLAH GERAK ZIG ZAG PADA MODEL KAPAL
PERANG DENGAN METODE *OPEN FREE RUNNING*
*MODEL TEST***

EKA PRASETYA SAMODRA HERDANI
NRP. 4108 100 067

Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

FINAL PROJECT - MN141581

***ZIG ZAG MANOEUVRE ANALYSYS IN WARSHIP MODEL
WITH OPEN FREE RUNNING MODEL TEST METHOD***

EKA PRASETYA SAMODRA HERDANI
NRP. 4108 100 067

Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc.,Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS OLAH GERAK ZIG ZAG PADA MODEL KAPAL PERANG DENGAN METODE *OPEN FREE RUNNING MODEL TEST*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

EKA PRASETYA SAMODRA HERDANI
NRP. 4108 100 067

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.
NIP. 19710320 199512 1 002

SURABAYA, JULI 2016

**ANALISIS OLAH GERAK ZIG-ZAG
PADA MODEL KAPAL PERANG
DENGAN METODE *OPEN FREE RUNNING MODEL TEST***

Nama Mahasiswa : Eka Prasetya Samodra Herdani
NRP : 4108 100 067
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Kapal harus memiliki kemampuan manuver yang baik, untuk menjaga keselamatan para awak kapal di dalamnya dan keselamatan kapal itu sendiri. Manuver yang baik ditunjukkan dengan kemampuan kapal bergerak dengan lincah di perairan. Kapal perang merupakan salah satu jenis kapal yang membutuhkan kemampuan manuver yang paling baik, karena fungsinya sebagai alat untuk menjaga perairan suatu negara. Kapal perang harus dapat bergerak lincah untuk mengejar musuh, menghindari musuh, maupun dalam patroli sehari-hari. Kemampuan manuver yang harus dimiliki oleh sebuah kapal telah diatur dalam *International Maritime Organization (IMO)* Resolusi MSC 137 (76) tahun 2002.

Pada penelitian ini, akan diaplikasikan untuk menganalisis performa olah gerak zigzag model kapal perang SIGMA dengan panjang 3 meter menggunakan 2 jenis kemudi yang berbeda. Kemudi yang akan diuji adalah kemudi konvensional berbentuk trapesium yang mempunyai luas $28,5 \text{ cm}^2$ disebut kemudi A dan kemudi dengan bentuk ekor ikan *lanceolate* yang memiliki luas sama, disebut kemudi B. Kecepatan model kapal yang digunakan sebesar 1 m/s dengan sudut kemudi sebesar 10° dan 20° . Metode yang digunakan adalah *open free running model test* di kolam terbuka. Proses pengambilan data menggunakan GPS yang terpasang pada model kapal. Data GPS diolah menggunakan microsoft excel dan autocad untuk mendapatkan sudut *overshoot* dari hasil pengujian.

Hasil pengujian zigzag 10 derajat untuk kemudi jenis A diperoleh sudut *overshoot* pertama sebesar 3 derajat dan sudut *overshoot* kedua sebesar 2 derajat. Sedangkan hasil pengujian zigzag 10 derajat untuk kemudi jenis B diperoleh sudut *overshoot* pertama sebesar 2 derajat dan *overshoot* kedua sebesar 4 derajat. Selanjutnya hasil pengujian zigzag 20 derajat untuk kemudi jenis A diperoleh *overshoot* pertama sebesar 22 derajat. Terakhir, hasil pengujian zigzag 20 derajat untuk kemudi jenis B diperoleh *overshoot* pertama sebesar 16 derajat. Hasil pengujian telah sesuai dengan standar manuver yang diatur oleh IMO Resolusi MSC 137 (76) tahun 2002, menghasilkan jenis kemudi konvensional memiliki performa manuver lebih baik dari kemudi *lanceolate*.

Kata kunci : *free running model test*, GPS, Kapal perang SIGMA , kemudi *lanceolate*, zigzag

ZIG ZAG MANOEUVRE ANALYSIS IN WARSHIP MODEL WITH OPEN FREE RUNNING MODEL TEST METHOD

Author : Eka Prasetya Samodra Herdani
ID No. : 4108 100 067
Department : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering
Faculty : Marine Technology
Supervisors : Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The ship should have good maneuverability, to maintain the safety of the crew in it and the safety of the ship itself. Good maneuverability shown by the ability of ships moving swiftly in water. The warship is certainly one type of vessels requiring most excellent maneuverability, due to its function as a tool to keep the waters of a country. Warships should be able to move swiftly to pursue the enemy, dodge enemies, as well as in their daily patrols. Maneuverability must be owned by a ship has been set up under the International Maritime Organization (IMO) Resolution MSC 137 (76) 2002.

In this study, will be applied to analyze the performance of zigzag maneuver on SIGMA models warship with a length of 3 meters using two different types of rudder. Rudder to be tested is a conventional rudder trapezoid shape which has an area of 28.5 cm² called rudder A and rudder with a fish tail shape lanceolate which has the same area, called rudder B. Ship models use a speed of 1 m/s with the rudder angle of 10° and 20°. The method used is called open free running test models is done in open water. The retrieval of data using GPS installed on the ship model. GPS data is processed using Microsoft Excel and AutoCAD to get the overshoot angle as the test results.

The test results of 10 degrees zigzag to the rudder type A is obtained first overshoot angle of 3 degrees and the second overshoot angle of 2 degrees. While the test results of 10 degrees zigzag to the rudder type B obtained first overshoot angle of 2 degrees and a second overshoot by 4 degrees. Furthermore, the test results of 20 degrees zigzag to the rudder type A is obtained first overshoot by 22 degrees. Finally, the test results of 20 degrees zigzag to the rudder type B obtained first overshoot by 16 degrees. The test results are in accordance with standard maneuvers regulated by IMO Resolution MSC 137 (76) 2002, conclude that conventional rudder has better manoeuvre performance than lanceolate rudder.

Keywords : *free running model test, GPS, rudder lanceolate, Warship SIGMA, zig-zag,*

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL ID	i
LEMBAR JUDUL EN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan Penelitian.....	2
I.4. Batasan masalah	3
I.5. Manfaat.....	3
I.6. Hipotesis	4
I.7. Metodologi Penelitian	4
I.8. Sistematika Laporan	6
BAB II STUDI LITERATUR.....	9
II.1. Standar Kemampuan Manuver.....	9
II.1.1. <i>Turning Ability</i>	10
II.1.2. <i>Initial Turning Ability</i>	11
II.1.3. <i>Stopping Ability</i>	12
II.1.4. <i>Course-Keeping and yaw-Checking Ability</i>	13
II.1.5. <i>Inherent Dynamic Stability</i>	14
II.1.6. <i>Course-Keeping Ability</i>	15

II.2. <i>Open Free Running Test</i>	15
II.3. Pengujian ZigZag	16
II.4. Kemudi	17
II.5. Baling-baling	18
II.6. <i>Global Positioning System</i>	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
III.1. Model Kapal Perang kelas SIGMA	22
III.2. Komponen dan Material	23
III.2.1. Motor DC	23
III.2.2. <i>Electronic Speed Control (ESC)</i>	24
III.2.3. Baterai	25
III.2.4. <i>Global Positioning System (GPS)</i>	26
III.2.5. Motor Servo	26
III.2.6. Arduino Mega 2650	27
III.2.7. EMS XB Shield	27
III.2.8. Modul Wireless Radio Frekuensi 2.4Ghz XBee Pro	28
III.2.9. <i>Propeller</i>	28
III.3. Desain Kemudi	29
III.4. Pelaksanaan <i>Open Free Running Model Test</i>	31
III.4.1. Peletakan Beban sampai kondisi <i>Even Keel</i>	31
III.4.2. Kolam Pengujian	33
III.4.3. Prosedur Pengambilan Data	34
III.5. Prosedur <i>Open Free Running Model Test</i>	36
III.6. Pengolahan Data GPS	37
III.6.1. Merubah Format Data Hasil GPS ke Ms.Excel	37
III.6.2. Mengolah Data melalui Ms.Excel	38
III.6.3. <i>Export</i> Data GPS dari Ms.Excel ke Autocad	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
IV.1. Hasil Pengujian Zig-Zag pada Model Kapal Perang kelas SIGMA	43
IV.2. Hasil Pengujian Zig-Zag Kemudi Konvensional	44
IV.3. Hasil Pengujian Zig-Zag Kemudi <i>Lanceolate</i>	47
IV.2. Evaluasi Kriteria Hasil Eksperimen Pengujian Zig-Zag	50

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
V.1. Kesimpulan	53
V.2. Saran	54
 DAFTAR PUSTAKA	 55
 LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Turning Ability Test</i>	11
Gambar 2.2 <i>Initial Turning Ability</i>	12
Gambar 2.3 <i>Stopping Ability</i>	12
Gambar 2.4 <i>Course-Keeping and Yaw-Checking Ability</i>	14
Gambar 2.5 <i>Inherent Dynamic Stability</i>	14
Gambar 2.6 <i>Course-Keeping Ability</i>	15
Gambar 2.7 Kemudi Berbentuk Ekor Ikan <i>Lanceolate</i>	17
Gambar 2.8 Baling-Baling Tunggal	18
Gambar 2.9 Baling-Baling Ganda	19
Gambar 2.10 Baling-Baling Tiga	19
Gambar 2.11 GPS Jenis Arduino UNO dipasang di Model Kapal Perang Kelas SIGMA.....	20
Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan	21
Gambar 3.2 <i>Linesplan</i> Kapal Perang Kelas SIGMA	22
Gambar 3.3 Model Kapal Perang Kelas SIGMA	23
Gambar 3.4 Motor DC Leopard 3500W 1500KV	24
Gambar 3.5 ESC Seaking 180 A	24
Gambar 3.6 Baterai Lipo 2200 mAh dan 5000 mAh	25
Gambar 3.7 Pemancar GPS Arduino UNO	26
Gambar 3.8 Motor Servo	27
Gambar 3.9 Keseluruhan Komponen Kontrol	28
Gambar 3.10 Propeller Twin Screw pada Model Kapal SIGMA.....	28
Gambar 3.11 Desain Kemudi <i>Lanceolate</i>	29
Gambar 3.12 Desain Kemudi Konvensional	30
Gambar 3.13 Bentuk Kemudi Konvensional Trapesium (Kemudi A)	30
Gambar 3.14 Bentuk Kemudi Tipe <i>Lanceolate</i> (Kemudi B)	31
Gambar 3.15 Kapal saat dicelupkan dalam air awalnya mengalami trim buritan.....	32
Gambar 3.16 Kapal setelah diberi ballast pada bagian haluan	32
Gambar 3.17 Kolam Delapan	33
Gambar 3.18 Persiapan <i>Open Free Running Model Test</i>	34

Gambar 3.19 Pengecekan Komponen	35
Gambar 3.20 Pengujian Olah Gerak Zig Zag	36
Gambar 3.21 Data GPS Hasil Pengujian Olah Gerak Zig Zag.....	38
Gambar 3.22 Data GPS diolah melalui Microsoft Excel.....	38
Gambar 3.23 Data GPS di Ms.Excel akan dipindah ke Autocad	39
Gambar 3.24 Data GPS di Ms.Excel akan dipindah ke Autocad	40
Gambar 3.25 Data GPS telah dipindah ke Autocad	40
Gambar 3.26 Lintasan Olah Gerak Zig Zag	41
Gambar 3.27 Membagi lintasan kapal per detik	42
Gambar 3.28 Kurva yang menghubungkan antara waktu tempuh dan sudut arah kapal	42
Gambar 4.1 Hasil Pengujian Zig Zag 10 derajat Kemudi Konvensional	45
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Zig Zag 20 derajat Kemudi Konvensional	47
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Zig Zag 10 derajat Kemudi <i>Lanceolate</i>	48
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Zig Zag 20 derajat Kemudi <i>Lanceolate</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Manuverabilitas Kapal oleh IMO.....	9
Tabel 3.1 Spesifikasi Kapal Asli dan Kapal Model.....	22
Tabel 4.1 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 10 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi konvensional.....	44
Tabel 4.2 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 20 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi konvensional.....	45
Tabel 4.3 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 10 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi <i>lanceolate</i>	47
Tabel 4.4 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 20 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi <i>lanceolate</i>	48
Tabel 4.5 Hasil Evaluasi Pengujian Olah Gerak Zig Zag pada Model Kapal Perang SIGMA terhadap Standar IMO dengan Kemudi Konvensional Trapesium.....	51
Tabel 4.6 Hasil Evaluasi Pengujian Olah Gerak Zig Zag pada Model Kapal Perang SIGMA terhadap Standar IMO dengan Kemudi Konvensional <i>Lanceolate</i>	51

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Kapal harus memiliki kemampuan manuver yang baik, untuk menjaga keselamatan para awak kapal di dalamnya dan keselamatan kapal itu sendiri. Manuver yang baik ditunjukkan dengan kemampuan kapal bergerak dengan lincah di perairan. Kapal perang tentunya merupakan salah satu jenis kapal yang membutuhkan kemampuan manuver yang paling baik, karena fungsinya sebagai alat untuk menjaga perairan suatu negara. Kapal perang harus dapat bergerak lincah untuk mengejar musuh, menghindari musuh, maupun dalam patroli sehari-hari. Kemampuan manuver yang harus dimiliki oleh sebuah kapal telah diatur dalam *International Maritime Organization (IMO)* Resolusi MSC 137 (76) tahun 2002.

Maneuverability kapal adalah kemampuan kapal untuk berubah arah (berbelok atau berputar) pada perairan terbatas atau terbuka. Kapal dikatakan mempunyai kualitas yang baik apabila bermanuver dengan baik pula. Kapal yang mempunyai kemampuan manuver yang baik akan bisa terhindar dari kecelakaan atau tabrakan dengan benda atau objek yang ada di sekitarnya, sehingga menjamin kelancaran, keselamatan kapal baik dalam pengoperasian maupun pelayarannya, terutama di area terbatas atau di dermaga (Li, 2005).

Kapal perang kelas SIGMA *extended* merupakan pengembangan desain oleh tim Konsorsium Kementrian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) pada tahun 2012. Kapal tersebut merupakan edisi pengembangan dimensi, keandalan berperang dan kemampuan manuver dari kapal sebelumnya yaitu kapal perang kelas *Ship Integrated Geometric Modularity Approach* (SIGMA) (KNRT, 2012). Prototipe kapal perang SIGMA *extended* dengan skala 1 : 35 dari ukuran kapal aslinya, telah dirancang oleh LHI (Laboratorium Hidrodinamika Indonesia – Surabaya).

Kapal perang merupakan jenis kapal yang sangat membutuhkan tingkat manuver tinggi untuk dapat bergerak dalam medan pertempuran. Oleh karena itu, kapal perang secara umum memiliki dua baling-baling (*twin screw*) agar memperoleh daya dorong yang lebih besar dan memiliki daya gerak (*maneuver*) tinggi. Pada peraturan IMO menetapkan bahwa kemudi kapal dipasang masing-masing 1 pada tiap baling-balingnya (*propeller*).

Saat ini sedang dilakukan inovasi desain kemudi baru yang dinilai mampu meningkatkan kemampuan olah gerak kapal, yaitu kemudi berbentuk menyerupai ekor ikan. Kemudi ekor ikan ini dilatarbelakangi atas dasar bentuk kemudi yang telah ada (berbentuk persegi panjang maupun trapesium), baik kemudi gantung maupun duduk. Seperti diketahui, besarnya gaya belok kemudi salah satunya bergantung pada besarnya kecepatan aliran air yang mengenai kemudi. Bila ditinjau distribusi aliran yang ada di daerah sekitar kemudi dengan istilah *wake* dan distribusi kecepatan aksial aliran di belakang baling-baling, dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran air pada daerah atas (puncak) baling baling adalah yang paling besar dan akan menurun secara bertahap mendekati nol pada poros baling-baling dan kemudian secara bertahap kembali membesar ke arah bawah baling baling sampai kecepatan alirannya mendekati kecepatan kapal.

Penelitian yang akan dilakukan adalah pengujian olah gerak *zig-zag* dengan sudut 10 dan 20 derajat. Evaluasi kriteria kapal meliputi sudut *overshoot* pertama untuk masing-masing pengujian *zig-zag* dan sudut *overshoot* kedua hanya untuk pengujian *zig-zag* 10 derajat (IMO Resolusi MSC 137 (76), 2002). Penelitian ini diharapkan dapat memberi hasil bahwa karakteristik kemudi ekor ikan memiliki pengaruh signifikan terhadap model kapal perang yang membutuhkan daya manuver tinggi.

I.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang diambil pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kemudi konvensional trapesium (kemudi A) dan kemudi berbentuk ekor ikan *lanceolate* (kemudi B) terhadap olah gerak zigzag pada model kapal perang kelas SIGMA yang diuji dengan metode *open free running model test*.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penulis dalam penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui bahwa prosedur pengujian *free running model test* untuk gerakan zigzag dengan variasi kemudi pada kolam terbuka dengan pengambilan data menggunakan GPS dapat dilakukan.
2. Mengetahui pengaruh dari kemudi konvensional trapesium (kemudi A) dan kemudi ekor ikan *lanceolate* (kemudi B) terhadap performa olah gerak zigzag pada model kapal perang kelas SIGMA.

I.4. Batasan Masalah

Oleh karena waktu penyusunan tugas akhir yang cukup singkat, maka diperlukan batasan masalah agar penelitian lebih terarah. Batasan masalah yang dibuat antara lain:

1. Model yang diteliti adalah kapal perang kelas SIGMA skala 3 meter hasil rancangan Laboratorium Hidrodinamika Indonesia – Surabaya berbahan kayu.

Ukuran utama model kapal adalah sebagai berikut:

LoA : 3,029 m = 302,9 cm

B : 0,400 m = 40 cm

T : 0,106 m = 10,6 cm

H : 0,250 m = 25 cm

Cb : 0,673

2. Sistem Propulsi yang digunakan adalah *propeller twin screw* yang mempunyai 3 daun yang telah dipasang di model kapal oleh LHI.
3. Jenis kemudi yang digunakan ada 2 yaitu kemudi konvensional berbentuk trapesium NACA 0018 (kemudi A) dan kemudi NACA 0018 dimodifikasi berbentuk *lanceolate* (kemudi B).
4. Gerakan manuver yang diuji adalah gerakan zig zag.
5. Sudut kemudi yang diambil adalah 10° , dan 20° ke arah *port* dan *starboard*.
6. Tidak ada perhitungan untuk memperoleh daya mesin, beban dan hambatan dari model kapal.
7. Kendali sistem penuh (monitor dan kontrol) berada pada komputer (laptop).
8. Pengujian secara eksperimen dilakukan pada air yang tenang di Kolam delapan yang terletak di depan Jurusan Teknik Elektro, ITS, dengan kecepatan service kapal model 1 m/s.
9. Hasil akhir dari Tugas Akhir ini sampai mendapatkan sudut overshoot pada olah gerak zig zag yang mengacu pada peraturan IMO Resolusi MSC 137 (76), 2002.

I.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah hasil evaluasi yang telah dilakukan melalui pengujian secara eksperimen dapat memberikan informasi apakah kemudi konvensional trapesium (kemudi A) dan kemudi ekor ikan *lanceolate* (kemudi B) yang dipasang pada model kapal perang sesuai dengan kriteria standar yang diisyaratkan oleh aturan IMO, hal ini

mengindikasikan bahwa kapal perang kelas SIGMA mempunyai kemampuan maneuver yang baik atau tidak.

I.6. Hipotesis

Percobaan *open free running model test* di kolam terbuka akan menunjukkan bahwa prosedur pengujian *open free running model test* untuk gerakan zigzag dengan variasi kemudi pada kolam terbuka dengan pengambilan data menggunakan GPS dapat dilakukan untuk memprediksi kemampuan manuver kapal. Data yang dihasilkan dari kemudi konvensional trapesium (kemudi A) dan kemudi ekor ikan *lanceolate* (kemudi B) yang dipasang pada model kapal perang kelas SIGMA memberikan pengaruh yang berbeda terhadap olah gerak zigzag.

I.7. Metodologi Penelitian

Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini dari pembuatan model kapal hingga prosedur pengambilan data dan analisa data dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai cara mendesain kemudi berbentuk lanceolate, prosedur pengujian *free running*, prosedur pengujian zig zag, dan hal yang harus diperhatikan saat pengujian termasuk kriteria zig zag yang mengacu pada peraturan IMO Resolusi MSC 137 (76), 2002.

2. Persiapan Pengujian

Material dan Komponen yang dipersiapkan untuk melaksanakan pengujian model

- Motor penggerak kapal (motor DC) sebanyak 2 buah.
- *Main Board* sebagai komponen utama sistim kelistrikan dan navigasi pada model kapal perang ini.
- *Gyro compass* dan GPS.
- *Controller* menggunakan program yang dioperasikan melalui laptop.
- *Poros propeller* mencakup keseluruhan sistim propulsi yang dipasang mulai dari motor penggerak sampai *propeller*, sebanyak 2 buah.
- *Propeller* dengan 3 daun kemudi, sebanyak 2 buah.

- Perancangan dan pembuatan Kemudi ekor ikan berbentuk *lanceolate* dan konvensional trapesium yang masing masing berjumlah 2 buah, sehingga total 4 buah daun kemudi beserta poros kemudi.
- Model kapal dengan ukuran

a. LoA	: 3,029 m	= 302,9 cm
b. B	: 0,400 m	= 40 cm
c. T	: 0,106 m	= 10,6 cm
d. H	: 0,250 m	= 25 cm
e. Cb	: 0,673	
- Pembuatan model kapal dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI-BPPT) yang terletak di dalam kampus ITS. Sedangkan lokasi pengujian berada di kolam delapan yang terletak di depan Jurusan Teknik Elektro, ITS. Lokasi pemasangan *controlling* dan sistim kelistrikan berada di Bengkel CV Modern Engineering.

3. Prosedur Pengujian Zig Zag Manuver

Pengujian *open free running* dengan gerakan zig zag dengan prosedur seperti berikut:

- a. Model kapal dijalankan secara lurus sampai pada keadaan stabil dengan sudut kemudi lurus (0°).
- b. Setelah mencapai kondisi stabil, kemudi dibelokkan ke arah *portside* sebesar 10°
- c. Pada saat sudut arah kapal (*ship heading*) mencapai sudut 10° dari jalur utama ke arah *portside*, kemudi dibelokkan ke arah *starboard* sebesar 10° (dengan acuan titik 0° adalah posisi awal kemudi kapal) Kapal akan melaju terus karena pengaruh gaya sebelumnya, hingga akhirnya sudut arah kapal akan mulai berkurang dan kapal mulai berbelok ke arah *starboard*.
- d. Setelah kapal bergerak ke arah *starboard*, saat sudut arah kapal mencapai sudut 10° ke arah *starboard*, kemudi dibelokkan kembali 10° ke arah *portside* sesuai prosedur b. Kemudian lakukan prosedur c.
- e. Lakukan prosedur a sampai d untuk sudut kemudi 20° .

4. Prosedur Pengolahan Data

Data pengujian yang tersimpan berupa koordinat hasil pembacaan GPS yang terpasang di model kapal. Data koordinat tersebut diolah dan akan dijelaskan lebih lanjut dalam BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.

5. Analisa Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian yang telah diolah selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan kesimpulan mengenai pengaruh kemudi yang dipasang di model kapal terhadap olah gerak zig zag.

I.8. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan Tugas Akhir ini disusun sesuai dengan kaidah dalam penulisan Tugas Akhir di ITS dengan urutan sebagai berikut:

ABSTRAK

Abstrak berisi intisari Tugas Akhir dimulai dari maksud penyusunan Tugas Akhir, metode yang dipakai dan hasil yang diharapkan serta kata-kata kunci yang digunakan untuk mempermudah pencarian Laporan Tugas Akhir.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan secara detail meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, metodologi penelitian dan sistematika penulisan dari tugas akhir yang disusun.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian yang meliputi, teori maneuvering kapal, metode pengambilan data, karakteristik kemudi kapal dan cara pengolahan data.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mamaparkan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian, mulai dari tahap studi literatur, persiapan pengujian, prosedur pengujian olah gerak zig zag, prosedur

pengolahan data, dan analisa data hasil pengujian sampai tahap penyusunan laporan penelitian.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan hasil analisa dari data pengujian dan pembahasan masing-masing jenis kemudi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN

Semua data hasil pengerjaan *free trial running model* dan dokumentasi dalam pengerjaan ini dimasukkan dalam lampiran sebagai pendukung dan untuk evaluasi pengerjaan selanjutnya.

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

BAB II STUDI LITERATUR

II.1. Standar Kemampuan Manuver

Prosedur yang digunakan untuk mengetahui kemampuan manuver sebuah kapal berdasarkan standar kemampuan kapal yang telah direkomendasikan oleh *International Maritime Organization* (IMO) yakni pada resolusi MSC.137 (76) tahun 2002 mengenai standar kemampuan manuver kapal.

Pada penjabaran dari resolusi yang direkomendasikan dari IMO. Kemampuan manuver kapal dapat dievaluasi berdasarkan hasil dari pengujian manuver kapal. IMO telah merekomendasikan beberapa kriteria standar untuk kemampuan manuver kapal seperti pada **tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Standar Manuverabilitas Kapal oleh IMO

Kemampuan Manuver	Pengujian	Kriteria IMO
<i>Turning ability</i> (Kemampuan Belok)	<i>Turning test with max : Rudder Angle (35 deg.)</i>	<i>Advance <4.5 L</i> <i>Tactical diameter <5,0 L</i>
<i>Initial turning ability</i> (Kemampuan Berbelok secara mendadak)	<i>10°/10° Z-test</i>	<i>Distance ship run before 2rd rudder execution <2,5 L</i>
<i>Stopping ability</i> (Kemampuan Berhenti)	<i>Stopping test with full astern</i>	<i>Track reach <15 L</i>
<i>Course-keeping and yaw-checking ability</i> (Kemampuan untuk mempertahankan arah kapal)	<i>10°/10° Z-test</i>	<i>1st Overshoot</i> <i><10° if (L/V < 10s)</i>
		<i><(5+0,5(L/V))°</i> <i>if(10s<L/V<30s)</i>
		<i><20° if (30s<L/V)</i>

		2^{nd} Overshoot
		$<25^{\circ}$ if $(L/V < 10s)$
		$<(17,5+0,75(L/V))^{\circ}$ if $(10s < L/V < 30s)$
		$<40^{\circ}$ if $(30s < L/V)$
	$20^{\circ}/20^{\circ}$ Z-test	1^{st} Overshoot $<25^{\circ}$

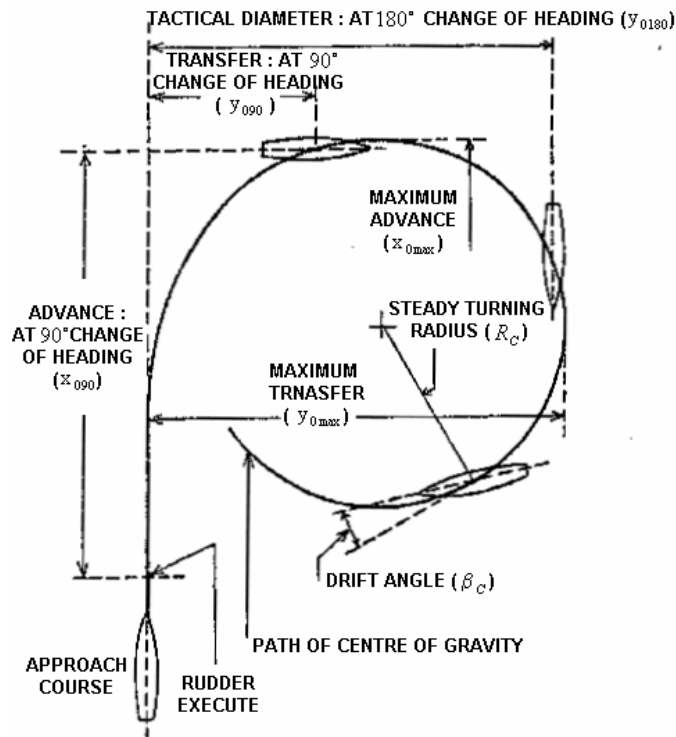
Pengujian olah gerak zig zag yang dipergunakan dalam penelitian mengikuti rekomendasi dari *maneuvering trial code International Towing Tank Conference (ITTC) 1975* dan IMO (Resolusi MSC 137 (76) 2002). Standar pengujian yang diperlukan berdasarkan manuver kapal yang dinyatakan pada IMO resolution MSC 137 (76) (2002) mengenai standar kemampuan manuver kapal.

II.1.1. Turning Ability

Turning Ability adalah kemampuan kapal untuk melakukan gerakan berputar 360° ke arah *port* atau *starboard* sehingga membentuk lintasan berbentuk lingkaran. Kemampuan ini terjadi karena adanya gaya yang dihasilkan dari sudut belok daun kemudi sehingga mempengaruhi aliran fluida yang mendorong badan kapal hingga mengalami perubahan arah sesuai arah belokan daun kemudi.

Pengujian *Turning Ability* dilakukan dengan membelokkan daun kemudi ke arah *port* atau *starboard* sebesar 35° dan secara terus menerus sampai kapal mencapai paling sedikit 540° atau kurang lebih hampir 2 kali gerakan memutar. Gambar *Turning Ability* menurut IMO resolusi MSC.137 (76) tahun 2002 terlihat pada gambar 2.1.

Pada *Turning Ability Test* ada kriteria dari IMO untuk mengetahui bahwa kapal yang diuji memiliki kemampuan berbelok yang baik, yaitu Jarak Advance tidak boleh melebihi 4,5 kali panjang kapal dan besar taktikal diameternya pada saat melakukan gerakan melingkar tidak boleh melebihi 5 kali panjang kapal.



Gambar 2.1 *Turning Ability Test*

Sumber : ITTC - Full Scale Measurements

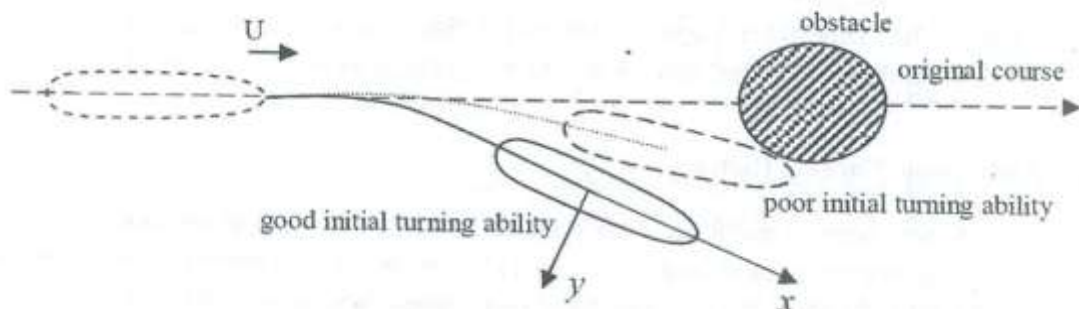
Manoeuvrability Full Scale Manoeuvring Trials Procedure

II.1.2. *Initial Turning Ability*

Initial Turning Ability adalah kemampuan kapal untuk berubah arah / berbelok ke arah *port* atau *starboard* secara tiba-tiba, contohnya saat menghindari sesuatu. Kemampuan ini harus dimiliki oleh semua kapal, terutama kapal perang yang perlu bergerak lincah dalam kesehariannya.

Pengujian *Initial Turning Ability* dilakukan dengan merubah arah kemudi sebesar 10° ke arah *port* atau *starboard*. Saat dilakukan *Initial Turning Ability Test*, IMO mensyaratkan bahwa kapal tidak boleh bergerak ke arah semula sejauh 2,5 kali panjang kapal dari titik dimana kemudi dibelokan 10° ke arah *port* atau *starboard*. Semakin kecil jarak kapal untuk berubah arah, semakin bagus respon kemudi terhadap pergerakan kapal.

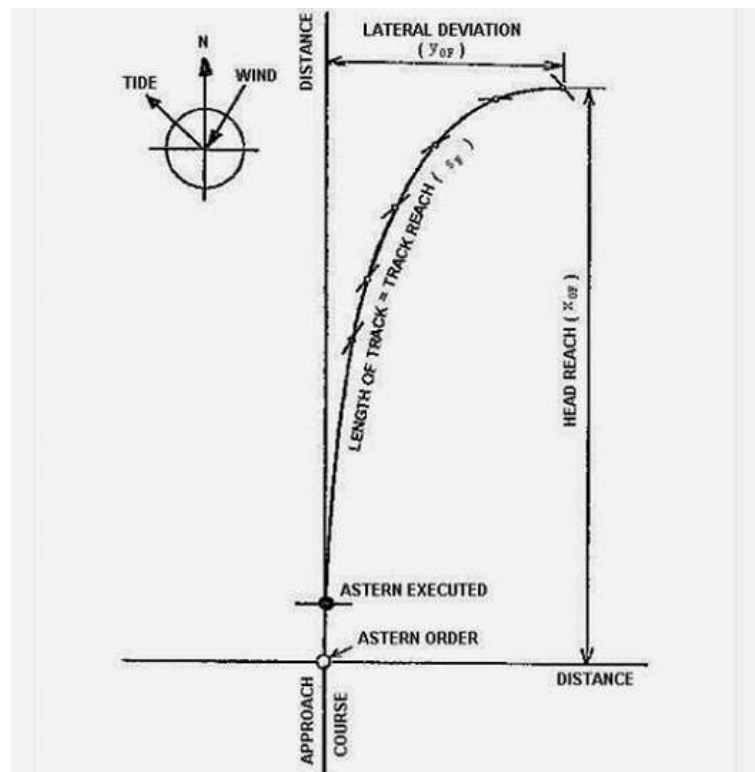
Gambar 2.2 menjelaskan contoh olah gerak *Initial Turning Ability* secara jelas.

Gambar 2.2 *Initial Turning Ability*

II.1.3. Stopping Ability

Stopping Ability adalah kemampuan kapal untuk berhenti saat mesin utama dimatikan atau putaran mesin diputar berlawanan arah agar kecepatan kapal menjadi 0. Pengujian dilakukan untuk mengetahui berapa jarak yang dibutuhkan kapal untuk berhenti. Kriteria yang diberikan oleh IMO adalah bahwa jarak kapal dari titik dimana mesin dimatikan atau diputar berlawanan arah sampai kapal benar benar berhenti harus kurang dari 15 kali panjang kapal.

Langkah pengujian stopping ability dapat dilihat pada gambar 2.3.

Gambar 2.3 *Stopping Ability*

Sumber : ITTC - Full Scale Measurements
Manoeuvrability Full Scale Manoeuvring Trials
Procedure

II.1.4. Course-Keeping and Yaw-Checking Ability

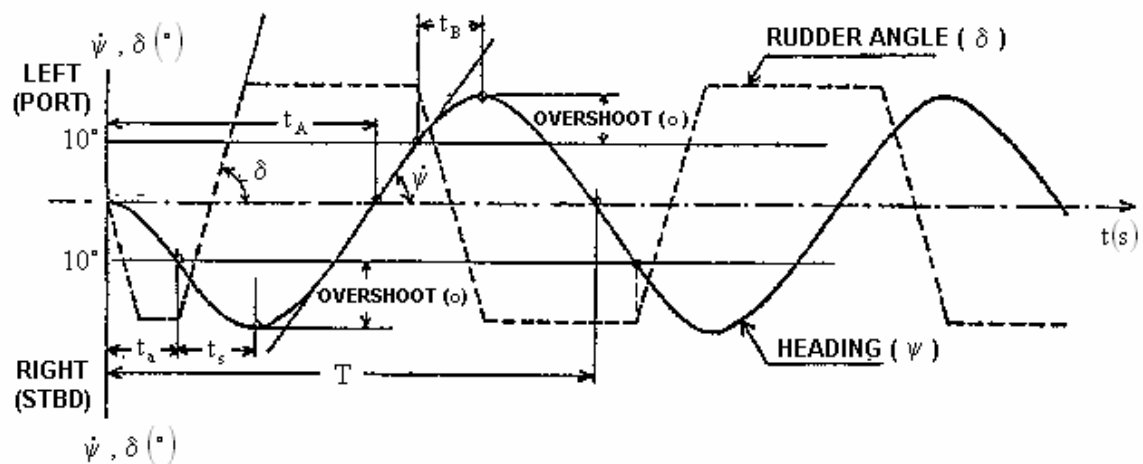
Kapal Perang sebagai fungsinya harus dapat bergerak secara lincah dan mendadak dengan respon kemudi yang cepat. Kemampuan ini mutlak harus dimiliki oleh sebuah kapal perang, karena menggabungkan antara kemampuan untuk mempertahankan posisi dan merespon kemudi yang diberikan secara berlawanan arah berulang-ulang. Kemampuan ini dikenal sebagai olah gerak zig zag atau berjalan secara zig zag.

Pengujian ini dilaksanakan dengan mengubah arah kemudi saat kapal dalam kondisi stabil. Pengujian zig zag ada 2 jenis variasi sudut, antara $10^\circ/10^\circ$ atau $20^\circ/20^\circ$. Untuk jenis yang pertama, sudut kemudi dibelokkan ke arah 10° ke arah port untuk eksekusi pertama. Setelah sudut arah kapal mencapai sudut 10° ke arah port, kemudian dilaksanakan eksekusi kedua dengan merubah sudut kemudi 10° ke arah starboard. Eksekusi ketiga dilaksanakan saat sudut arah kapal mencapai 10° ke arah starboard, maka sudut kemudi dibelokkan lagi 10° ke arah port sama seperti saat eksekusi pertama.

Kriteria pengujian zig zag menurut IMO adalah sebagai berikut

1. Nilai sudut overshoot yang pertama pada pengujian zig zag $10^\circ/10^\circ$ tidak boleh melebihi :
 - a. 10° jika L/V kurang dari 10 detik.
 - b. 20° jika L/V adalah 30 detik atau lebih.
 - c. $(5+0,5(L/V))^\circ$ jika L/V adalah 10 detik atau lebih, tapi kurang dari 30 detik.
2. Nilai sudut overshoot yang kedua pada pengujian zig zag $10^\circ/10^\circ$ tidak boleh melebihi :
 - a. 20° jika L/V kurang dari 10 detik.
 - b. 40° jika L/V adalah 30 detik atau lebih.
 - c. $(17,5+0,75(L/V))^\circ$ jika L/V adalah 10 detik atau lebih, tapi kurang dari 30 detik.
3. Nilai sudut overshoot yang pertama pada pengujian zig zag $20^\circ/20^\circ$ tidak boleh melebihi 25° .

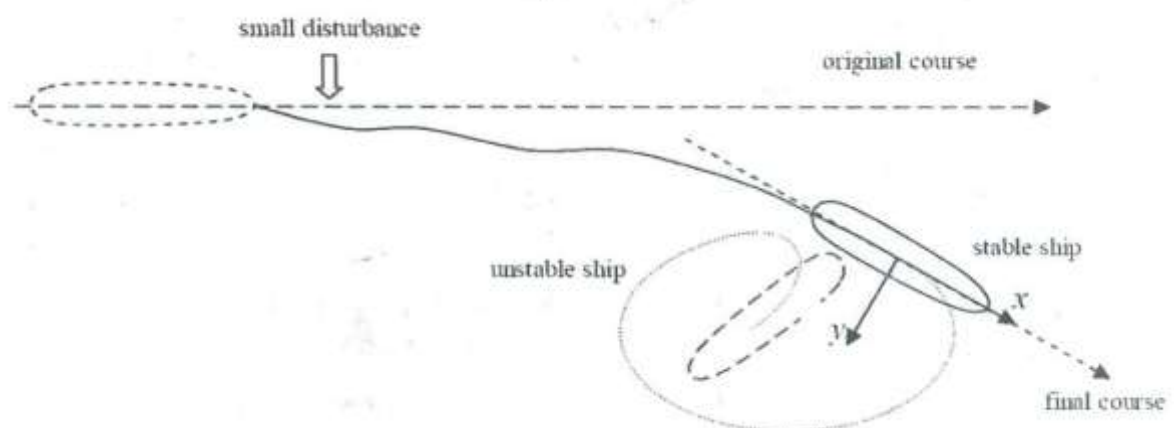
Dimana L adalah panjang kapal dalam satuan meter, dan V adalah kecepatan kapal pada saat pengujian dalam satuan meter/detik. Gambaran zigzag test diagram bisa dilihat pada gambar 2.4 dimana kurva garis penuh menggambarkan *heading* kapal dan kurva putus-putus menjelaskan sudut kemudi kapal.



Gambar 2.4 *Course-Keeping and Yaw-Checking Ability*
 Sumber : ITTC - Full Scale Measurements Manoeuvrability
 Full Scale Manoeuvring Trials Procedure

II.1.5. Inherent Dynamic Stability

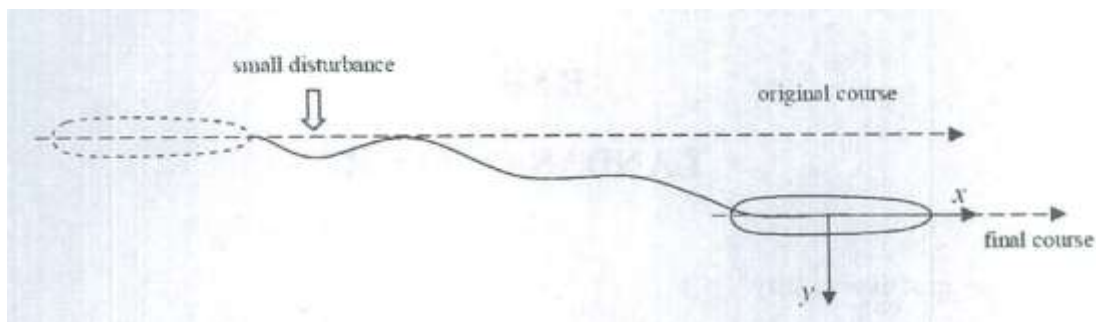
Selain 4 jenis gerakan manuver diatas ada 2 jenis gerakan manuver yang terjadi pada kapal sesuai dengan ITTC 1975. Saat kapal bergerak lurus ke depan dengan stabil, apabila ada gaya yang mengenai kapal tersebut, misal gaya akibat ombak dari sisi kapal, maka kapal akan mengalami perubahan arah tapi dapat tetap bergerak lurus ke depan sesuai jalur. Gerakan ini disebut juga *straight line stability*. Gambar 2.5 menjelaskan contoh olah gerak *inherent dynamic stability*.



Gambar 2.5 *Inherent Dynamic Stability*

II.1.6. Course-Keeping Ability

Course keeping ability adalah kemampuan kapal untuk dapat kembali ke arah semula setelah ada gaya yang mengenai kapal tersebut. Kapal yang mengalami *course-keeping ability* juga dapat mempertahankan gerakan kapal agar bergerak ke arah semula dengan mengontrol kemudinya. Gerakan ini juga disebut *directional ability*. Contoh olah gerak *course-keeping ability* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Course-Keeping Ability*

II.2. Open Free Running Test

Open Free Running Test merupakan salah satu jenis eksperimen yang sangat penting dalam bidang stabilitas dan dinamika gerak kapal. Menurut Lewis (1989) *free running model test* lebih praktis dengan memanfaatkan model kapal yang dilengkapi dengan propeller sendiri dengan skala tertentu. Sehingga dapat dilakukan gerakan maneuver yang sebenarnya dapat ditentukan hal apa aja yang kurang.

Peralatan untuk melakukan *free running model test* yang digunakan oleh Umeda (1995) dan Hamamoto (1996) terdiri dari dua bagian besar, yaitu peralatan-peralatan yang terpasang di model kapal (*on board equipments*), dimana peralatan-peralatan ini ikut bergerak dengan model kapal, dan peralatan-peralatan yang tidak terpasang di kapal, yaitu peralatan-peralatan yang diletakkan di darat (*ground facilities*). Peralatan yang *on board* di model kapal antara lain terdiri dari peralatan untuk mengendalikan kemudi model kapal yang digerakkan dengan *stepping monitor*, peralatan untuk merekam data posisi dari model kapal tersebut, dan juga motor untuk menggerakkan *propeller*.

Free running model test memerlukan model dengan putaran *propeller* dan posisi *control-surface* yang dikontrol dan dicatat sebagai fungsi waktu. *Free running model* ini juga memerlukan kolam percobaan maneuver yang cukup luas, untuk mendapatkan data koordinat

sumbu X_0 dan Y_0 , keduanya sebagai dari fungsi waktu. Dengan menggunakan intruksi-intruksi diatas untuk kapal skala penuh, gerakan maneuver *zigzag* dapat dilakukan dengan *free running model* dan hasil karakteristik dari maneuver ini bisa digunakan. Untuk alasan inilah *free running model test* masih tetap digunakan untuk memperkirakan karakteristik gerak maneuver model kapal.

Dengan memakai model dengan skala tertentu yang diletakkan dalam kolam air, dalam beberapa saat dapat diketahui tinggi sarat haluan dan sarat buritan serta kemiringan yang terjadi dapat diukur. Standart pengujian dengan teknik *free running model test* mengacu pada ketentuan internasional yang telah disepakati bersama untuk memastikan kualitas serta ketersediaan hasil pengujian. Standart pengujian yang digunakan mengacu pada organisasi ITTC tahun 2000 dan 2001 (23rd ITTC Manouvering Committee Report, 2002).

Perlu diingat bahwa pengaruh skala pada maneuver kapal belum diketahui secara pasti, semakin besar model kapal yang digunakan semakin kecil error yang timbul akibat penskalaan. Dan juga ukuran sesungguhnya dari kolam test dalam hubungannya dengan luas area test harus diperhatikan sehingga mampu untuk melakukan test peralatan pendukung lainnya. Dalam pemakaian model fisik untuk melakukan pengujian, hasil yang diperoleh harus dapat ditransfer dari skala model ke skala penuh.

II.3. Pengujian ZigZag

Pengujian *zig-zag* manuver ini telah ditetapkan menjadi standar pengujian manuver kapal oleh *International Towing Tank Conference* (ITTC) pada tahun 1963. Uji *zig-zag* dilakukan untuk kedua bagian sisi kapal yakni *starboard* dan *portside* dengan menentukan sudut kemudi. Dimana terdapat dua jenis *zig-zag* untuk tes standar yaitu dengan menggunakan sudut *heading* sebesar $10^\circ/10^\circ$ dan $20^\circ/20^\circ$.

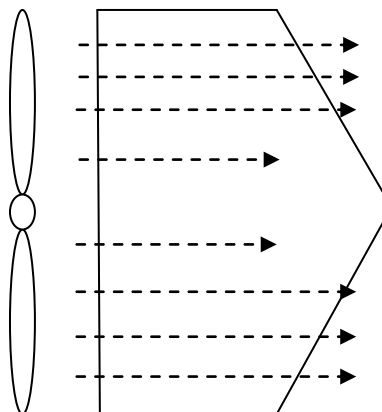
Standar manuver serta terminology dari manuver *zig-zag* 10° dapat didefinisikan sebagai berikut :

1. Manuver *zig-zag* dengan sudut kemudi 10 derajat dilaksanakan dengan prosedur sebagai berikut :
 - a. Setelah mencapai *steady approach* dengan percepatan *yawing* sebesar 0, maka *rudder* dibelokkan sebesar 10 derajat ke arah *starboard* atau *portside* untuk eksekusi pertama.

- b. Pada saat sudut *heading* berubah 10 derajat dari sudut *heading* semula, maka kemudi dibelokkan berlawanan arah dari eksekusi pertama sebesar 10 derajat ke arah *port* atau *starboard* untuk eksekusi kedua.
 - c. Setelah kemudi dibelokkan maka kapal akan terus berbelok ke arah semula dengan mengalami penurunan kecepatan belok. Untuk mengetahui respon kapal terhadap control maka selanjutnya kapal harus berbelok ke arah berlawanan. Ketika kapal sudah mencapai sudut *heading* 10 derajat ke arah awal maka selanjutnya kemudi diubah sebaliknya ke arah 10 derajat sebaliknya untuk eksekusi ketiga.
2. Sudut *overshoot* pertama adalah penambahan dari defiasi sudut *heading* pada *zig-zag* manuver pada eksekusi kedua.
 3. Sudut *overshoot* kedua adalah penambahan deviasi sudut *heading* pada *zig-zag* manuver di eksekusi ketiga.
 4. Pengujian Zigzag 20°/20° dilaksanakan sesuai prosedur pada pengujian zigzag 10°/10°. Hanya sudut kemudi yang digunakan sebesar 20 derajat dan sudut *heading* kapal sebesar 20 derajat.

II.4. Kemudi

Rudder atau dikenal dengan kemudi merupakan sebuah komponen yang terpasang di belakang *propeller* pada kapal dimana dalam pengoperasiannya bekerja berdasarkan perintah dari sinyal kontrol. *Rudder* tersebut berfungsi menjaga arah sesuai dengan perintah yang diinginkan.



Gambar 2.7 Kemudi berbentuk ekor ikan “*lanceolate*”

Pergerakan maneuver kapal identik dengan pergerakan ikan saat berenang. Kemampuan ikan bermaneuver dalam berenang tak lepas dari peran bentuk ekor ikan. Dalam pemilihan bentuk ekor ikan berdasar pada prinsip aliran pada belakang propeller, oleh karena itu digunakan bentuk ekor ikan berbentuk *lanceolate*, atau penambahan panjang pada bagian tengah dan meruncing seperti ujung tombak (*lance*)

Sesuai dengan analisa pelat ekor ikan, kecepatan aliran fluida pada daerah atas dan bawah baling-baling memiliki nilai paling besar dan akan menurun secara pada daerah poros baling-baling, sehingga pada keadaanya sebenarnya bagian tengah kemudi tidak menghasilkan lift yang sebesar daerah atas dan bawah kemudi.

II.5. Baling-baling

Dalam teori dasar hambatan dan propulsi, baling-baling kapal diibaratkan sekrup pendorong, semakin besar ulir atau *pitch*nya, semakin cepat pula kapal bergerak maju. Dengan berputarnya baling-baling maka karenanya akan memukul air dan akibatnya kapal akan bergerak maju. Jumlah baling-baling kapal itu bermacam-macam antara lain :

1. Baling-baling tunggal

dikapal kebanyakan menggunakan baling-baling putar kanan artinya jika mesin atau baling-baling maju maka baling-baling akan berputar searah jarum jam.



Gambar 2.8 Baling-baling tunggal

Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/Ship>

2. Baling-baling ganda

Pada umumnya adalah baling-baling ganda putar luar (*out turning propeller*) maksudnya adalah baling-baling kanan putar kanan dan baling-baling kiri putar kiri.



Gambar 2.9 Baling-baling ganda

3. Baling-baling tiga

Kedudukan tiga baling-baling itu terletak/susunan satu pada masing-masing sisinya sisi kanan putar kanan dan sisi kiri putar kiri dan satu lagi tepat dibelakang kemudi (ditengah-tengah baling-baling putar kanan).



Gambar 2.10 Baling-baling tiga
<https://en.wikipedia.org/wiki/Propeller>

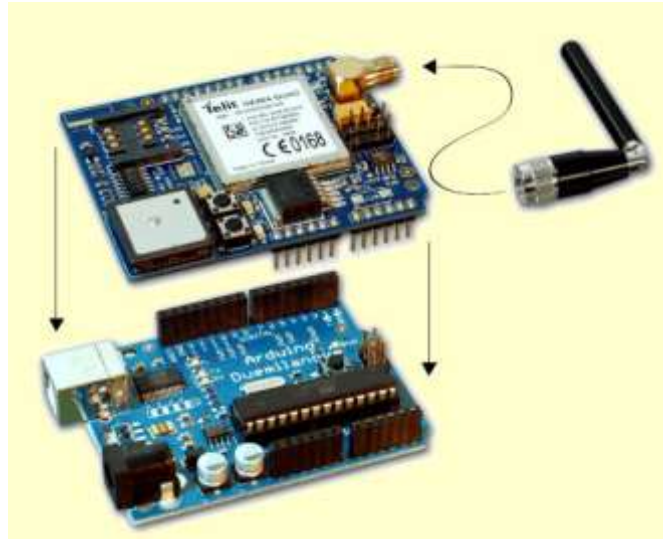
4. Baling-baling empat

Pada baling-baling empat ini sistem putarnya adalah sitem luar artinya dua baling-baling sebelah kanan putar kanan dan baling-baling kiri putar kiri.

Propeller yang digunakan pada kapal perang kelas SIGMA skala 3 meter adalah jenis propeller ganda, dimana kedua propeller bersamaan berputar. Propeller kiri bergerak ke arah kiri dan propeller kanan bergerak ke arah kanan.

II.6. *Global Positioning System*

Global Positioning System (GPS) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Beberapa kemampuan GPS antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini tanpa tergantung cuaca. Prinsip penentuan posisi dengan GPS yaitu menggunakan metode reseksi jarak, dimana pengukuran jarak dilakukan secara simultan ke beberapa satelit yang telah diketahui koordinatnya. Untuk aplikasi sipil, GPS memberikan nilai ketelitian posisi dalam spektrum yang cukup luas, mulai dari meter sampai dengan millimeter. Di Indonesia sendiri pengguna GPS sudah mulai sejak beberapa tahun yang lalu dan terus berkembang hingga saat ini baik dalam volume maupun jenis aplikasinya.

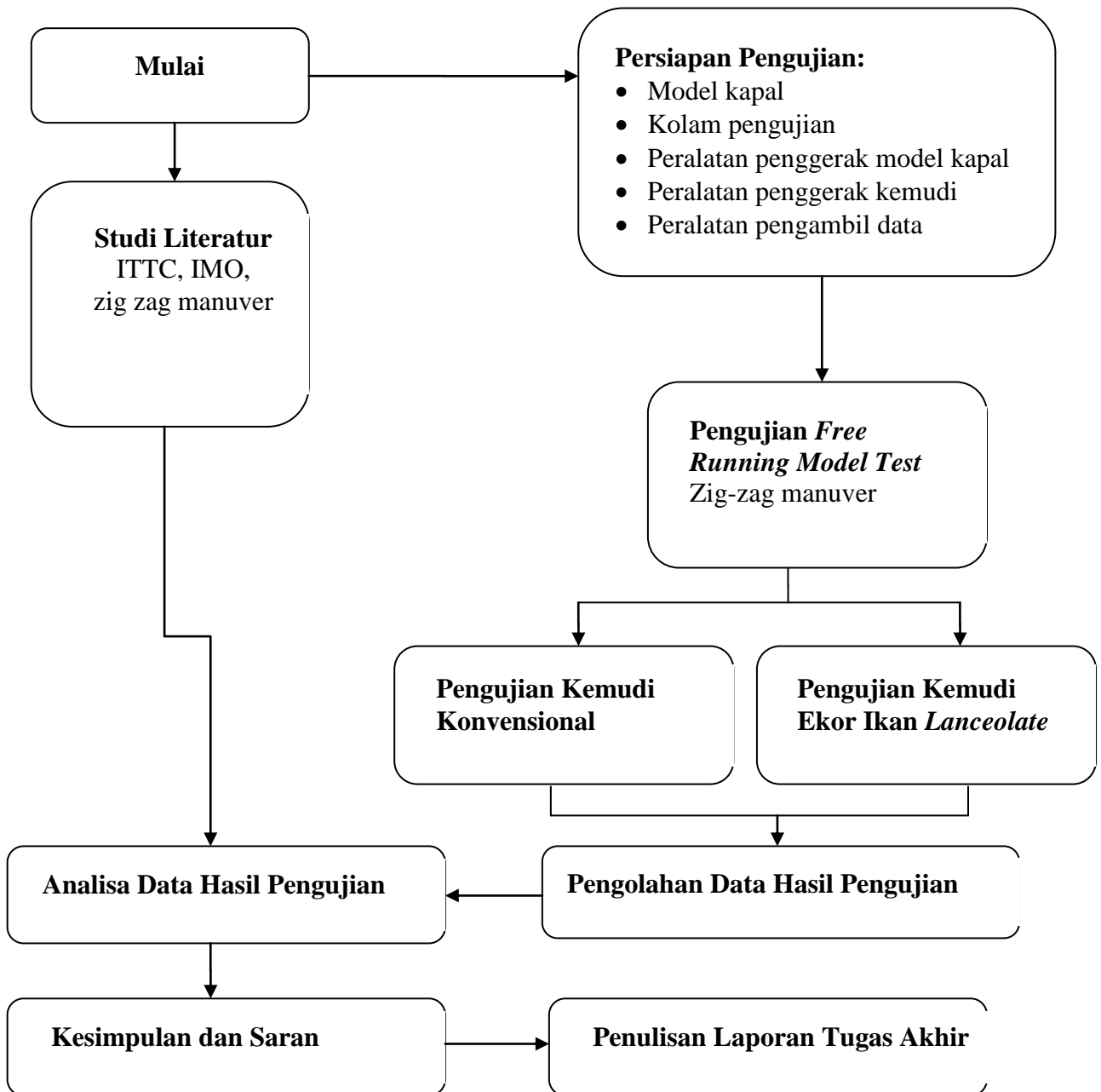


Gambar 2.11 GPS jenis arduino uno yang dipasang di model kapal perang kelas SIGMA

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

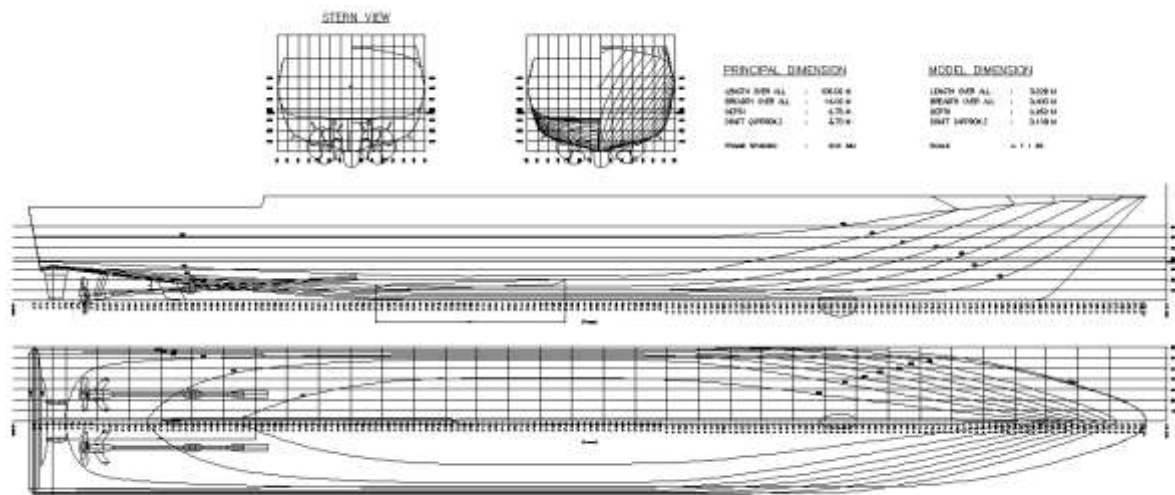
Pada bab ini akan dijelaskan tahapan pengerjaan Tugas Akhir, antara lain perancangan perangkat keras kapal, pengujian kapal, skenario pengambilan data, evaluasi kriteria yang ditunjukkan pada diagram alur gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan

III.1. Model Kapal Perang kelas SIGMA

Kapal korvet kelas SIGMA merupakan salah satu jenis kapal perang yang menjadi kekuatan TNI AL. Kapal korvet kelas SIGMA mempunyai fungsi dasar dari kapal ini adalah Patroli maritime Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE), Penggetar, Pencarian dan penyelamatan (SAR) dan anti kapal selam. Kapal ini dirancang untuk menerima system modul di berbagai area, menyebabkan kapal ini mempunyai banyak keunggulan disbanding kapal perang dari jenis korvert lainnya. Oleh karena itu tim konsorsium KNRT mengembangkan dimensi, kemampuan berperang dan keandalan maneuver. Desain kapal perang kelas SIGMA *extended* yang dirancang oleh konsorsium KNRT seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Linesplan* Kapal Perang kelas SIGMA

LHI mentransformasikan desain Kapal Perang kelas SIGMA Gambar 3.2 kepada sebuah prototype dengan perbandingan skala 1 : 35. Gambaran informasi spesifikasi Kapal Perang kelas SIGMA dan model Kapal Perang kelas SIGMA seperti pada table 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Kapal Asli dan Kapal model

	Kapal Perang kelas SIGMA	Model Kapal Perang kelas SIGMA
Perbandingan skala	1	35
Desain kecepatan	39 (knot)	2,6 (m/s)
LWL	101,07 (meter)	2,86 (meter)
LOA	106 (meter)	3,03 (meter)

B	14 (meter)	0,4 (meter)
Depth	8,75 (meter)	0,25 (meter)
Draft	3,7 (meter)	0,11 (meter)

Prototipe kapal perang kelas SIGMA skala 3 meter yang dibuat oleh LHI ditunjukkan pada gambar 3.3. Kapal ini didesain menggunakan mesin penggerak ganda untuk memutar *propeller*. *Propeller* kiri berputar berlawanan jarum jam, sedangkan *propeller* kanan berputar searah jarum jam.



Gambar 3.3 Model Kapal Perang kelas SIGMA

III.2. Komponen dan Material

Sistim Penggerak dan Sistim Navigasi yang dipasang pada model kapal terdiri dari berbagai macam komponen. Masing-masing komponen memiliki fungsi yang berbeda. Berikut adalah rincian dari beberapa komponen, yaitu:

III.2.1. Motor DC

Motor yang dipergunakan untuk pengujian adalah tipe motor listrik DC sebanyak 2 (dua), dimana masing-masing menggerakkan 1 (satu) buah propeler. Jenis motor penggerak adalah motor yang biasa dipergunakan pada RC (*Radio Control*) racing, motor DC brushless.

Motor Leopard 3500W 1500KV ini membutuhkan daya 120 Ampere, dan menggunakan baterai Lippo-Cell 4-9s. Sesuai dengan namanya, motor ini mempunyai

kekuatan sebesar 1500KV, atau 1500 RPM/Volt. Adapun poros *propeller* yang bisa dipasang sebesar 5mm.



Gambar 3.4 Motor DC Leopard 3500 W 1500 KV

III.2.2. Electronic Speed Control (ESC)

Kontrol Kecepatan Elektronik atau yang biasa disingkat ESC adalah sirkuit elektronik yang berfungsi untuk memvariasi putaran RPM motor listrik dengan pengaturan fase tegangan yang diterima. Pada kasus ini ESC Seaking 180 A (Gambar 3.5), berfungsi untuk mengatur kecepatan motor *Leopard Brushless* yang digunakan sebagai motor penggerak utama, dengan karakteristik sebagai berikut ini:

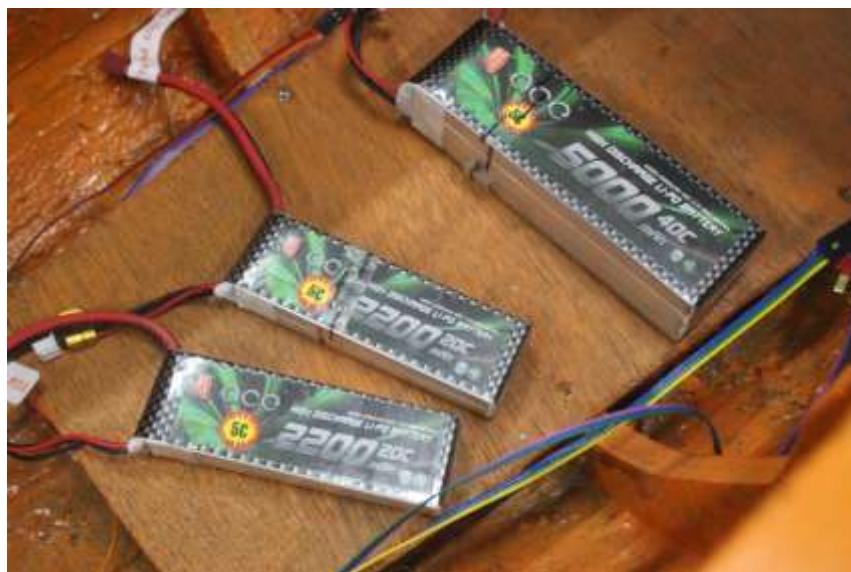


Gambar 3.5 ESC Seaking 180 A

- Dirancang khusus untuk RC boat, dengan sangat baik start-up, akselerasi dan fitur linearitas.
- Menggunakan komponen elektronik kualitas terbaik untuk meningkatkan kemampuan daya tahan ESC.
- Dengan sistem pendingin air dan mekanisme ESC adalah tahan air supaya tahan lebih lama.
- 2 mode running, "*Forward Only*" mode dan "*Foward / Backward*" mode untuk berbagai kapal.
- Beberapa fitur *protection: low voltage cut-off protection* baterai *lithium* atau *nikel* / *Over-heat protection* / *Throttle signal loss protection*
- 8 langkah penyesuaian waktu, kompatibel dengan semua jenis sensor yang brushless motor.

III.2.3. Baterai

Untuk memenuhi daya mesin maupun *servo* yang masing-masing berjumlah 2 buah, dipergunakan baterai lipo 5000mAh dan baterai lipo 2200mAh sebanyak 2 buah (Gambar 3.6) yang memiliki spesifikasi sebagai berikut. Kapasitas daya baterai sebesar 5000mAh, dengan voltase sebesar 7.4 V. Adapun ukuran baterai adalah 138mm x 46mm x 25mm, dengan berat 309 gram. Baterai mampu menjalankan kapal kurang lebih 15 menit sekali jalan, dengan *resting time* 10 sampai 15 menit untuk pendinginan. Total lama waktu pemakaian yang bisa tertempuh sekitar 45 menit, kemudian baterai perlu untuk *dicharge* ulang.



Gambar 3.6 Baterai Lipo 2200 mAh dan 5000 mAh

III.2.4. Global Positioning System (GPS)

Arduino GPS shield modul GPS breadout papan dirancang penerima *Global Positioning System* dengan *SD interface*. Hal ini mudah digunakan untuk merekam data posisi ke kartu *memory SD*. Sumber tegangan operasi yang di butuhkan 5V / 3.3V tegangan yang kompatibel membuatnya kompatibel dengan *Arduino board*, *leafmaple*, *IFlat32* dan *Arduino board* lain yang kompatibel.



Gambar 3.7 Pemancar GPS Arduino UNO pada model kapal SIGMA

III.2.5. Motor Servo

Motor servo (Gambar 3.8) adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (*servo*), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output motor*. *Motor servo* merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol dan *potensio meter*. Serangkaian *gear* yang melekat pada poros *motor DC* akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi *motor servo*, sedangkan *potensiometer* dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros *motor servo*.



Gambar 3.8 Motor servo yang digunakan untuk menggerakkan *rudder* pada model kapal SIGMA

III.2.6. Arduino Mega 2650

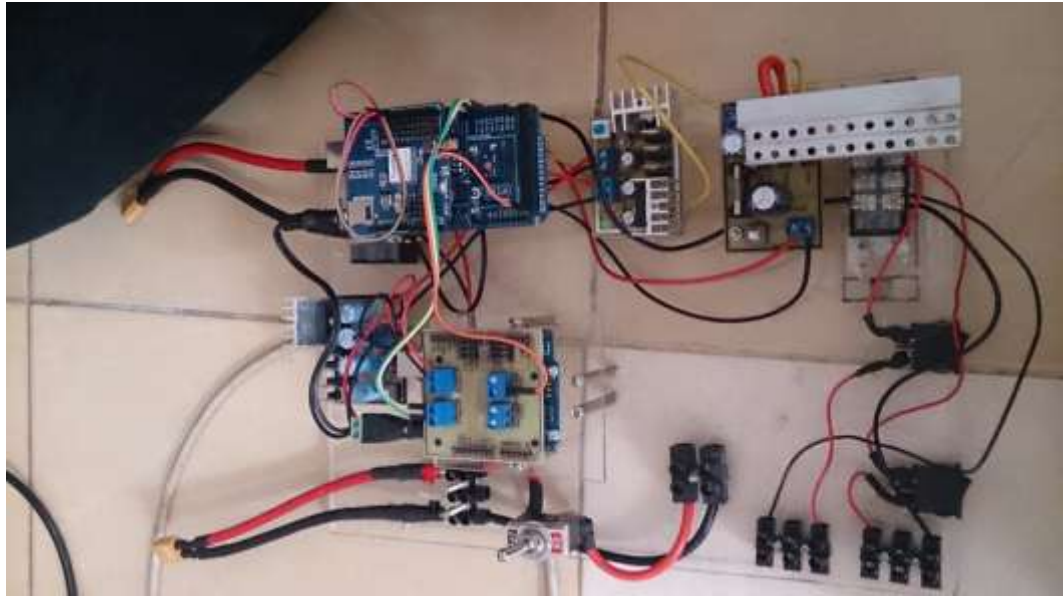
Arduino Mega2560 adalah papan mikro kontroler berbasis ATmega2560 (*data sheet ATmega2560*). *Arduino Mega2560* memiliki 54 *pin digital input/output*, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai *output PWM*, 16 pin sebagai *input analog*, dan 4 pin sebagai *UART (port serial hardware)*, 16 MHz kristal osilator, koneksi *USB*, *jack power*, *header ICSP*, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel *USB* atau *power* dihubungkan dengan *adaptor AC-DC* atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. *Arduino Mega2560* kompatibel dengan sebagian besar *shield* yang dirancang untuk *Arduino Duemilanove* atau *Arduino Diecimila*. *Arduino Mega2560* adalah versi terbaru yang menggantikan versi *Arduino Mega*.

III.2.7. EMS XB Shield

EMS XB Shield merupakan sebuah modul *add-on/Shield* untuk modul *DT-AVR Innoduino* ataupun modul *Arduino™ / Arduino™ Compatible*. Dengan menggunakan modul ini maka modul *Xbee®/XBee-PRO®* dapat dengan mudah dihubungkan dengan modul *Arduino™ / Arduino™ Compatible* lain tanpa harus mengkhawatirkan level tegangan dan layout koneksi pin. Selain itu kebebasan dalam menentukan jenis *Xbee* yang akan digunakan juga tersedia, karena modul *EMS XB Shield* ini kompatibel dengan *Xbee®* dan *XBee-PRO®*.

III.2.8. Modul Wireless Radio frekuensi 2.4GHz XBee Pro

Radio Frequency atau pengirim dan penerima frekuensi radio ini berfungsi untuk komunikasi secara full duplex. Radio frekuensi transceiver ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari RF Receiver dan RF transmitter dengan sistem interface serial UART asynchronous.



Gambar 3.9 Keseluruhan Komponen Kontrol yang telah disatukan

III.2.9. Propeller

Propeller yang dipergunakan adalah baling-baling dari bahan kuningan yang dibuat dengan cara di *casting* pada cetakan. Baling-baling ini memiliki 3 daun, dan diameter sebesar 5 cm yang dipasang sebanyak 2 buah (*twin screw*).

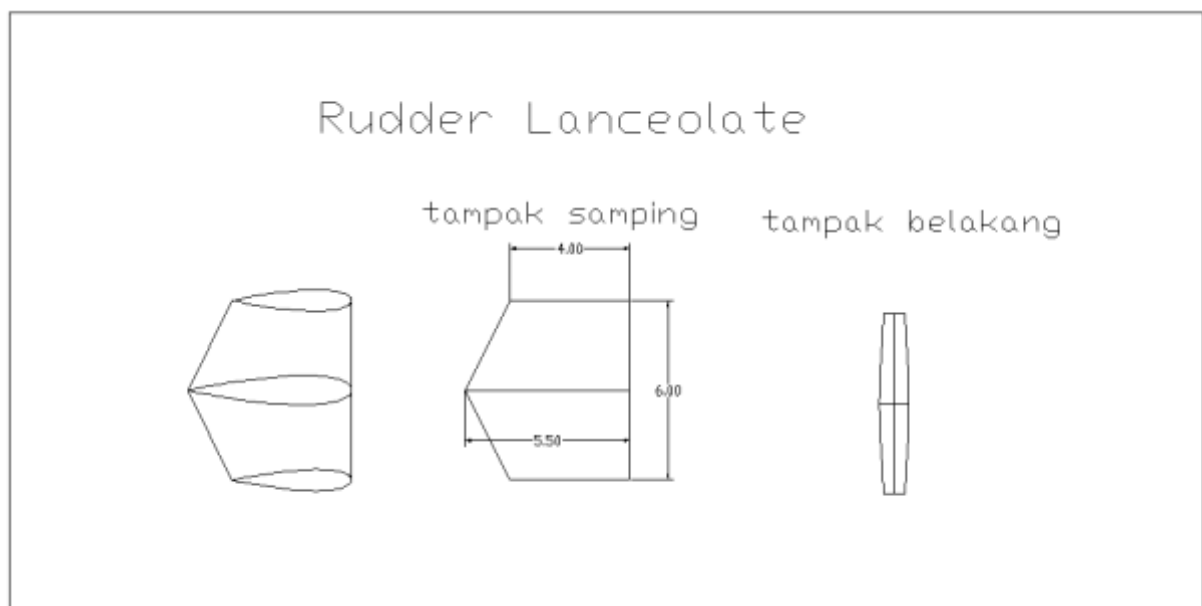


Gambar 3.10 *Propeller twin screw* pada model kapal SIGMA

III.3. Desain Kemudi

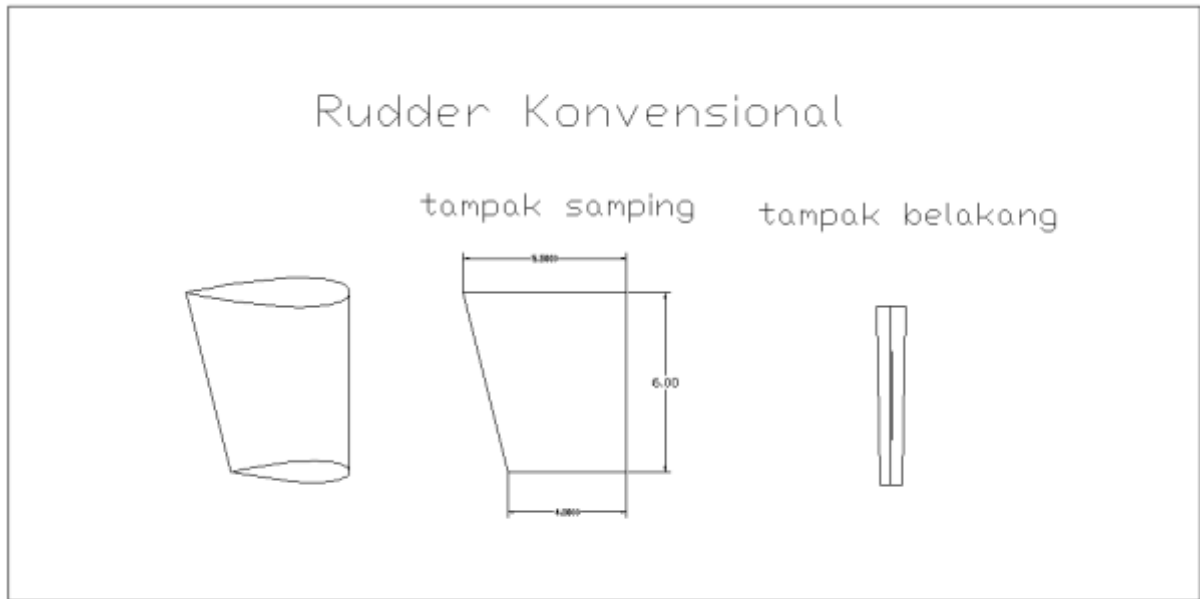
Pada penelitian ini, pada model kapal dipasang 2 jenis kemudi yang akan dibandingkan secara bergantian, yaitu kemudi konvensional NACA 0018 berbentuk trapesium yang dibuat oleh LHI, disebut kemudi A. Kemudi NACA 0018 yang dimodifikasi menjadi bentuk *lanceolate*, disebut *lanceolate* karena memiliki ujung yang lancip seperti tombak (*lance*). Kemudi *lanceolate* ini selanjutnya disebut kemudi B. Hal yang mendasari perhitungan kemudi B ini haruslah memiliki luasan area kemudi yang sama dengan kemudi A, lalu selanjutnya dihitung untuk menentukan bentuk foil pada bagian atas, bawah, dan tengah dari daun kemudi sesuai rumus pada perhitungan sesuai buku “*Theory of Wing Sections*”.

Setelah desain Kemudi B ini selesai, selanjutnya kemudi ini dibuat dengan bahan kayu, sesuai gambar dibawah (gambar 3.11).



Gambar 3.11 Desain kemudi *lanceolate*

Untuk kemudi jenis A, LHI membuatnya sesuai desain aslinya yang di desain oleh DSNS (*Damen Schelde Naval Shipbuilding*) – Belanda. Desain itu dibuat untuk dipasang ke Kapal Perang jenis *corvette* yang merupakan pesanan dari TNI-AL.



Gambar 3.12 Desain kemudi konvensional

Dibawah ini adalah bentuk dari kemudi tipe A (gambar 3.12) dan kemudi tipe B (gambar 3.13) yang telah dibuat beserta *rudder stock* (tongkat kemudi). Kemudi ini siap dipasang ke model kapal perang SIGMA dan digerakkan oleh motor servo.



Gambar 3.13 Bentuk kemudi konvensional trapesium (kemudi A)



Gambar 3.14 Bentuk kemudi tipe *lanceolate* (kemudi B)

III.4. Pelaksanaan *Open Free Running Model Test*

Pada tahap ini, semua alat dan komponen yang diperlukan dalam pelaksanaan pengujian sudah terpasang dengan baik. Saat sebelum kapal dicoba untuk dimasukkan pada air, terlebih dahulu semua peralatan, mulai dari sistim gerak, sistim kelistrikan, sistim kontrol, dan sistim navigasi telah diuji dan dikalibrasi. Setelah semua pengecekan kelayakan komponen diuji, model diturunkan ke dalam air untuk *free trial*.

III.4.1. Peletakkan beban sampai kondisi *even keel*

Pengujian *Open Free Running Model Test*, mensyaratkan bahwa model kapal harus berada pada kondisi *even keel* dengan garis air mencapai garis sarat, agar memperoleh hasil pengujian yang optimal sesuai dengan keadaan sebenarnya. Saat awal kapal diturunkan dalam air, kondisinya tentu belum *even keel* dikarenakan berat komponen dan motor DC yang berada di bagian belakang, dan terdapat *coolent* untuk mendinginkan motor DC pada bagian belakang, sehingga menyebabkan model kapal mengalami trim buritan. Agar dapat mencapai kondisi *even keel*, maka saat kapal diturunkan ke dalam air, pada bagian haluan kapal diberi

beban *ballast* berupa balok paving yang disusun sehingga tidak bergerak agar tidak mengganggu stabilitas kapal saat sedang di *running*.



Gambar 3.15 Kapal saat dicelupkan air awalnya mengalami trim buritan



Gambar 3.16 Kapal setelah diberi *ballast* pada bagian haluan sehingga mencapai kondisi *even keel*

III.4.2. Kolam Pengujian

Kolam yang digunakan untuk melaksanakan pengujian *Open Free Running Model Test* pada awalnya sebanyak 4 tempat, yakni pertama adalah kolam uji PPNS sebesar 20 meter x 25 meter dan memiliki kedalaman kurang lebih 3 meter sampai 4 meter. Kedua adalah kolam Graha ITS yang memiliki ukuran 20 meter x 45 meter dan memiliki kedalaman kurang lebih 2 meter. Ketiga adalah kolam renang milik TNI AL di Bumimoro, Perak, Surabaya. Kolam renang di Bumimoro berukuran 20 m x 50 m dengan kedalaman 1,5 meter sampai 3 meter. Terakhir adalah kolam perumahan dosen ITS yang terletak di seberang Jurusan Teknik Elektro dan Jurusan Statistika, ITS, atau lebih dikenal dengan istilah kolam delapan.

Kolam delapan inilah yang akhirnya dipakai sebagai kolam tetap untuk pengujian sehingga mencapai hasil yang memuaskan. Adapun ukuran kolam delapan adalah 25 meter x 70 meter dan memiliki kedalaman 4 sampai 5 meter. Kolam delapan dipilih berdasarkan perhitungan panjang lintasan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian olah gerak zig zag, karena ukuran model kapal yang 3 meter lebih, melalui hipotesa berdasarkan pengujian *open free running model test* sebelumnya dibutuhkan kolam dengan panjang minimal 10x panjang kapal, sehingga kolam delapan yang cocok untuk pengujian. Selain itu kondisi kolam yang ideal untuk meletakkan peralatan-peralatan dan lokasi yang tidak terlalu jauh dari tempat bengkel kapal.



Gambar 3.17 Kolam Delapan yang digunakan untuk *Open Free Running Model Test*

III.4.3. Prosedur Pengambilan Data

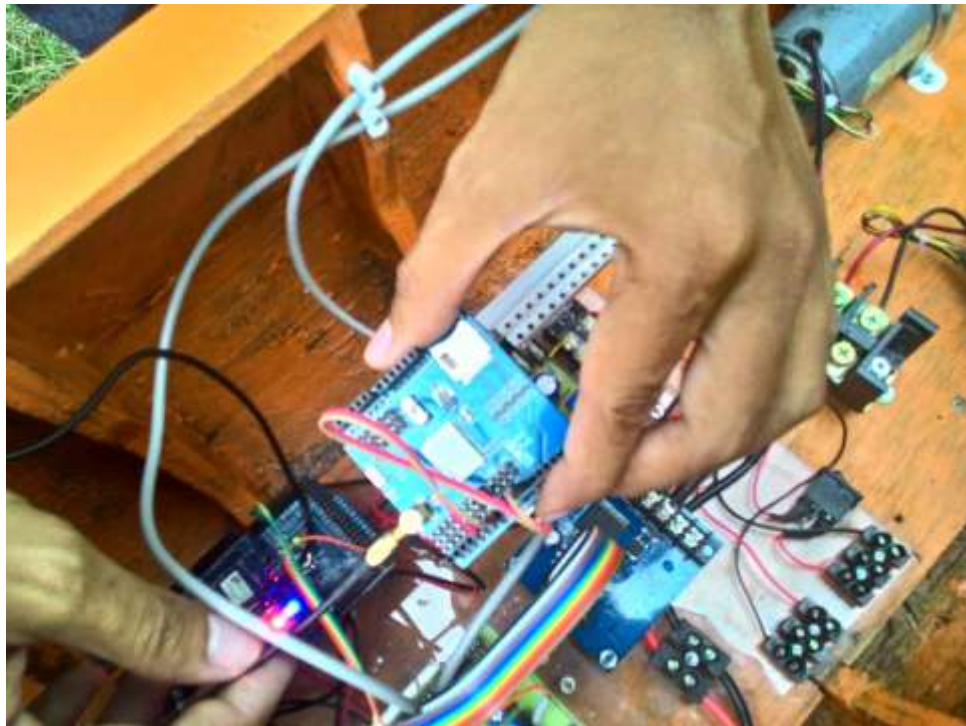
Prosedur yang digunakan untuk pengambilan data pada pengujian olah gerak zig zag dengan metode *open free running model test* adalah sebagai berikut:

- Model kapal telah siap dan keseluruhan sistim telah diuji kelayakannya, selanjutnya pemilihan kolam uji yang menggunakan kolam delapan dengan pertimbangan yang cukup matang, setelah sebelumnya mencoba 3 kolam berbeda, namun selalu terjadi error dan kolam tidak cukup untuk melaksanakan pengujian.
- Setelah kolam dipilih, Kapal ditempatkan di pinggir kolam delapan untuk mengkalibrasi sistim GPS dan kontrol antara laptop sebagai remote control dan kapal sebagai yang dikontrol. Kapal beberapa kali kehilangan sinyal dari laptop karena peletakkan antena GPS yang kurang tinggi dan memang jarak kapal yang terlalu jauh dengan pengendali. Antena GPS berperan sebagai pengirim sinyal ke kapal dan juga penerima sinyal dari kapal.



Gambar 3.18 Persiapan *pra running* di pinggir kolam delapan

- GPS terus menerus memberikan posisi koordinat kapal baik saat diam walaupun saat berjalan, setelah *remote control* (laptop) dan kapal terkoneksi. Data koordinat GPS yang dikirim dari kapal disimpan dalam bentuk koordinat *cartesian*. Sebelum pengujian dan pengambilan data dilakukan, uji coba/ *trial* dilakukan untuk mendeteksi sistem berjalan sesuai dengan rencana dan data yang direkam sesuai dengan rencana pengujian. Jika sistem menunjukkan sistem kerja yang kurang sesuai dilakukan perbaikan. Kegiatan ini diulang-ulang sehingga sistem menghasilkan data yang sesuai dengan rencana percobaan.



Gambar 3.19 Pengecekan komponen yang terpasang

- Setelah semua dinyatakan siap, dan laptop telah terkoneksi dengan kapal, maka kapal diturunkan ke dalam kolam. Kemudian, beban *ballast* di cek lagi sampai mencapai kondisi *even keel*, selanjutnya sebelum pengujian dimulai, kecepatan angin diukur agar tidak mengganggu gerak dan kestabilan kapal. Kecepatan angin dapat dilihat dari riak ombak yang ada di kolam, bila air tampak tenang, maka pengujian siap dilaksanakan.
- Model kapal dijalankan dan direkam gerakan manuvernya. Posisi awal lintasan kapal ditentukan. Pengujian olah gerak zig zag siap dilaksanakan. Perekaman dilakukan menggunakan kamera *smartphone* merk sony Z compact.



Gambar 3.20 Pengujian olah gerak zig zag

- Proses pengambilan data, terkirim otomatis dengan sistem GPS. Titik titik koordinat selama kapal berjalan telah disimpan ke dalam laptop yang bertindak sebagai *remote control*.
- Pelaksanaan pengujian dilakukan beberapa kali dengan speed kapal 1 m/s dan 2 jenis kemudi, yaitu kemudi A berbentuk konvensional trapesium dan kemudi B berbentuk *lanceolate* dengan arah sudut kemudi untuk pengujian zig zag adalah $10^\circ/10^\circ$ dan $20^\circ/20^\circ$.
- Pengujian dilaksanakan selama kurang lebih 1 semester, karena saat pelaksanaan terjadi beberapa kejadian error seperti korsleting. Motor DC sebagai penggerak utama juga sempat mengalami trouble akibat ESC mengalami kelebihan beban, sehingga rusak dan perlu membeli dengan waktu yang lama karena ketidaktersediaan di pasar saat itu.

III.5. Prosedur *Open Free Running Model Test*

Manuver *zig-zag* dengan sudut kemudi 10 derajat dilaksanakan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Setelah mencapai *steady approach* dengan percepatan *yawing* sebesar 0, maka *rudder* dibelokkan sebesar 10 derajat ke arah *starboard* atau *portside* untuk eksekusi pertama.
2. Pada saat sudut *heading* berubah 10 derajat dari sudut *heading* semula, maka kemudi dibelokkan berlawanan arah dari eksekusi pertama sebesar 10 derajat ke arah *port* atau *starboard* untuk eksekusi kedua.
3. Setelah kemudi dibelokkan maka kapal akan terus berbelok ke arah semula dengan mengalami penurunan kecepatan belok. Untuk mengetahui respon kapal terhadap control

maka selanjutnya kapal harus berbelok ke arah berlawanan. Ketika kapal sudah mencapai sudut *heading* 10 derajat ke arah awal maka selanjutnya kemudi diubah sebaliknya ke arah 10 derajat sebaliknya untuk eksekusi ketiga.

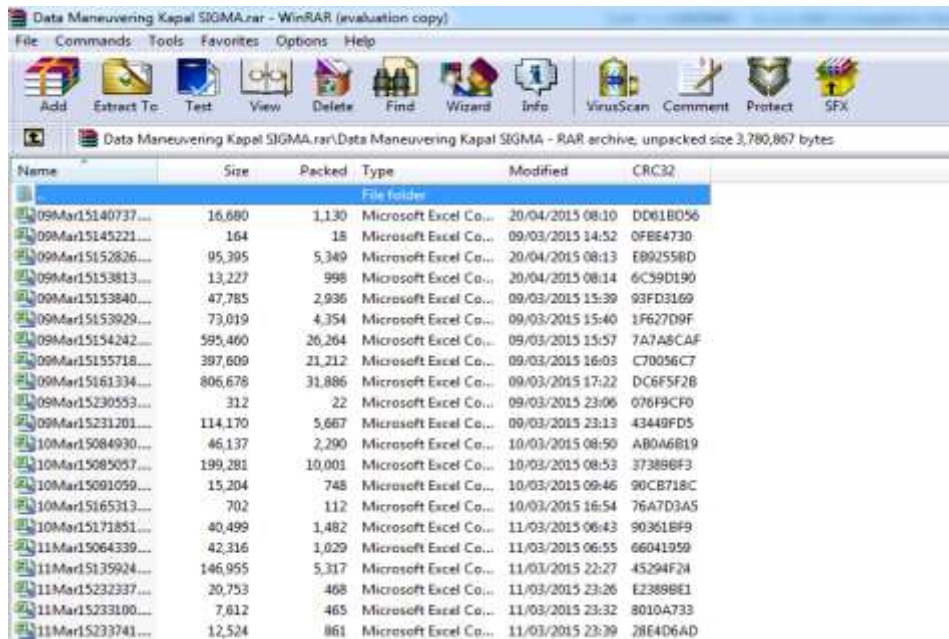
4. Sudut *overshoot* pertama adalah penambahan dari defiasi sudut *heading* pada *zig-zag* manuver pada eksekusi kedua.
5. Sudut *overshoot* kedua adalah penambahan deviasi sudut *heading* pada *zig-zag* manuver di eksekusi ketiga.
6. Pengujian Zigzag $20^{\circ}/20^{\circ}$ dilaksanakan sesuai prosedur pada pengujian zigzag $10^{\circ}/10^{\circ}$. Hanya sudut kemudi yang digunakan sebesar 20 derajat dan sudut *heading* kapal sebesar 20 derajat.

III.6. Pengolahan Data GPS

Pelaksanaan pengujian open free running model test olah gerak zig zag telah selesai. Data hasil koordinat GPS tersimpan dalam bentuk koordinat cartesian yaitu sumbu x dan y yang telah disesuaikan dengan arah lintasan kapal yang berbentuk zig zag.

III.6.1. Merubah format data hasil GPS ke Ms.Excel

Data GPS yang tersimpan masih mencampur aduk antara data pengujian yang gagal dan yang sukses. Saat pengujian dilaksanakan tentu tidak sekali coba data langsung sukses diambil, perlu ada banyak trial dan error, sehingga memunculkan data GPS yang harus di cek satu per satu untuk melihat data yang fix sesuai dengan batasan yang digunakan. Data yang dipilih juga memenuhi kriteria menggunakan 2 jenis kemudi dan 2 sudut kemudi. Data dicocokkan dengan hasil video perekaman untuk menentukan tanggal dan waktu saat pengambilan data berlangsung. Data hasil GPS tampak pada gambar 3.21 yang masih berupa koordinat kartesius.



Gambar 3.21 Data GPS hasil pengujian olah gerak zig zag kapal SIGMA

III.6.2. Mengolah data melalui Ms. Excel

Data yang telah dipilih, selanjutnya dipindah ke dalam *Microsoft Excel*, koordinat yang muncul sangat banyak sekali bahkan ada yang berjumlah sampai ratusan. Koordinat-koordinat yang muncul kembar karena dalam 1 detiknya GPS mengirim data beberapa kali ke laptop sehingga posisi koordinat yang diberikan sangat akurat.

Data yang sudah dimasukkan dalam excel dapat dilihat pada gambar 3.22.

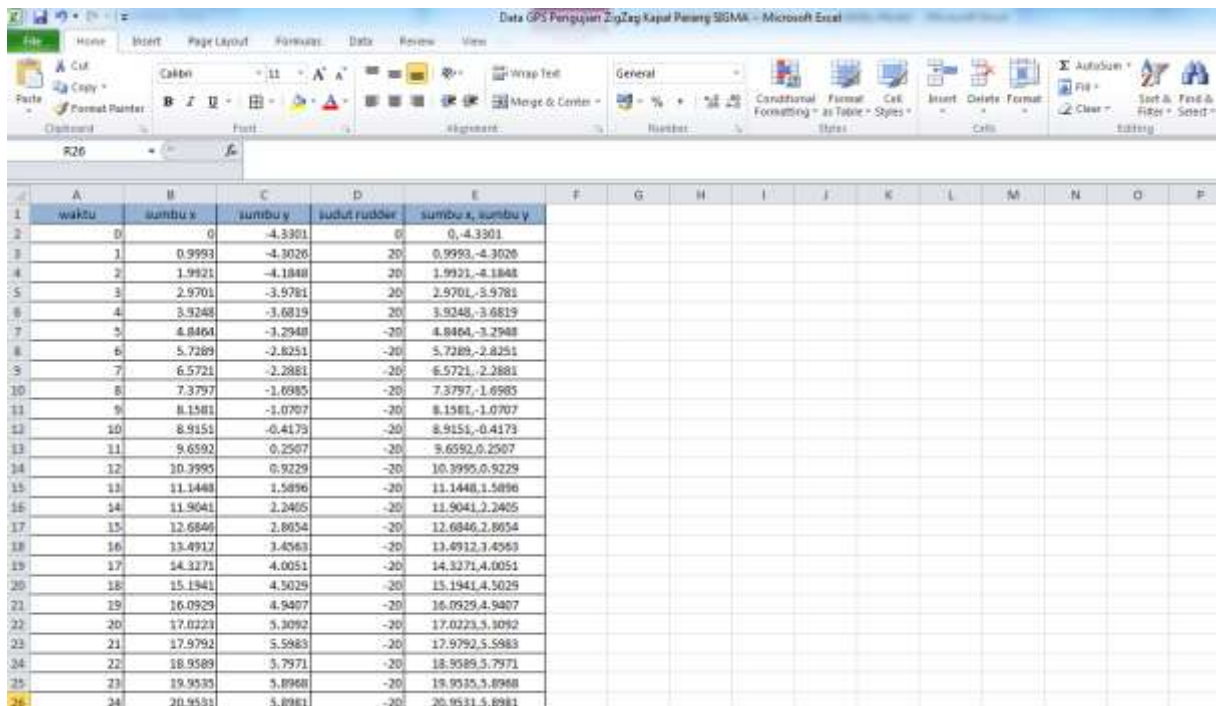
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	waktu	sumbu x	sumbu y	sudut rudder											
1															
2	0	0	-4.3301	0											
3	1	0.9993	-4.3026	20											
4	2	1.9921	-4.1848	20											
5	3	2.9701	-3.9781	20											
6	4	3.9248	-3.6819	20											
7	5	4.8464	-3.2948	20											
8	6	5.7289	-2.8251	20											
9	7	6.5721	-2.2881	20											
10	8	7.3797	-1.6985	20											
11	9	8.1581	-1.0707	20											
12	10	8.9151	-0.4173	20											
13	11	9.6592	0.2507	20											
14	12	10.3995	0.9229	20											
15	13	11.1448	1.5896	20											
16	14	11.9041	2.2405	20											
17	15	12.6846	2.8654	20											
18	16	13.4912	3.4563	20											
19	17	14.3271	4.0051	20											
20	18	15.1941	4.5029	20											
21	19	16.0929	4.9407	20											
22	20	17.0223	5.3092	20											
23	21	17.9792	5.5983	20											
24	22	18.9589	5.7971	20											
25	23	19.9535	5.8968	20											
26	24	20.9531	5.8981	20											

Gambar 3.22 Data GPS diolah melalui *microsoft excel*

Data yang diolah pada *Microsoft Excel* masih berupa *raw data* yang belum diketahui jarak lintasan dan besar sudut *yaw* kapal atau arah kapal. Angka yang muncul adalah dalam satuan meter, dengan titik point 0,0 adalah saat kapal mulai digerakkan. Oleh karena itu, selanjutnya data yang telah dimasukkan di *Microsoft Excel* diexport ke dalam autocad, agar bisa digambar sesuai dengan skala, sehingga memunculkan bentuk lintasan yang sebenarnya.

III.6.3. Export Data GPS dari Ms. Excel ke Autocad

Data koordinat hasil pembacaan GPS, selanjutnya dipindah ke dalam Autocad. Koordinat dalam *Microsoft Excel* masih terpisah antara sumbu x dan sumbu y, ketika dimasukkan ke dalam autocad, tentu akan susah saat akan digambar. Sumbu x dan sumbu y dalam *microsoft excel* disatukan menjadi satu kolom dengan perintah “=CONCATENATE(B2,",",C2)” (tanpa tanda kutip) yang dimasukkan di kolom disebelah sumbu y. Perintah concatenate berarti menggabungkan antara nilai yang terdapat dalam kolom B2 (sumbu x) dan nilai yang terdapat pada kolom C2 (sumbu y), dan dipisahkan dengan tanda koma.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	waktu	sumbu x	sumbu y	sudut rudder	sumbu x, sumbu y											
2	0	0	-4.3301	0	0,-4.3301											
3	1	0.9993	-4.3026	20	0.9993,-4.3026											
4	2	1.9921	-4.1848	20	1.9921,-4.1848											
5	3	2.9701	-3.9781	20	2.9701,-3.9781											
6	4	3.9248	-3.6819	20	3.9248,-3.6819											
7	5	4.8464	-3.2948	-20	4.8464,-3.2948											
8	6	5.7289	-2.8251	-20	5.7289,-2.8251											
9	7	6.5721	-2.2881	-20	6.5721,-2.2881											
10	8	7.3797	-1.6985	-20	7.3797,-1.6985											
11	9	8.1581	-1.0707	-20	8.1581,-1.0707											
12	10	8.9151	-0.4173	-20	8.9151,-0.4173											
13	11	9.6592	0.2507	-20	9.6592,0.2507											
14	12	10.3995	0.9229	-20	10.3995,0.9229											
15	13	11.1448	1.5896	-20	11.1448,1.5896											
16	14	11.9041	2.2405	-20	11.9041,2.2405											
17	15	12.6846	2.8054	-20	12.6846,2.8054											
18	16	13.4912	3.4563	-20	13.4912,3.4563											
19	17	14.3271	4.0051	-20	14.3271,4.0051											
20	18	15.1941	4.5029	-20	15.1941,4.5029											
21	19	16.0929	4.9407	-20	16.0929,4.9407											
22	20	17.0223	5.3092	-20	17.0223,5.3092											
23	21	17.9792	5.5983	-20	17.9792,5.5983											
24	22	18.9589	5.7971	-20	18.9589,5.7971											
25	23	19.9535	5.8968	-20	19.9535,5.8968											
26	24	20.9531	5.8981	-20	20.9531,5.8981											

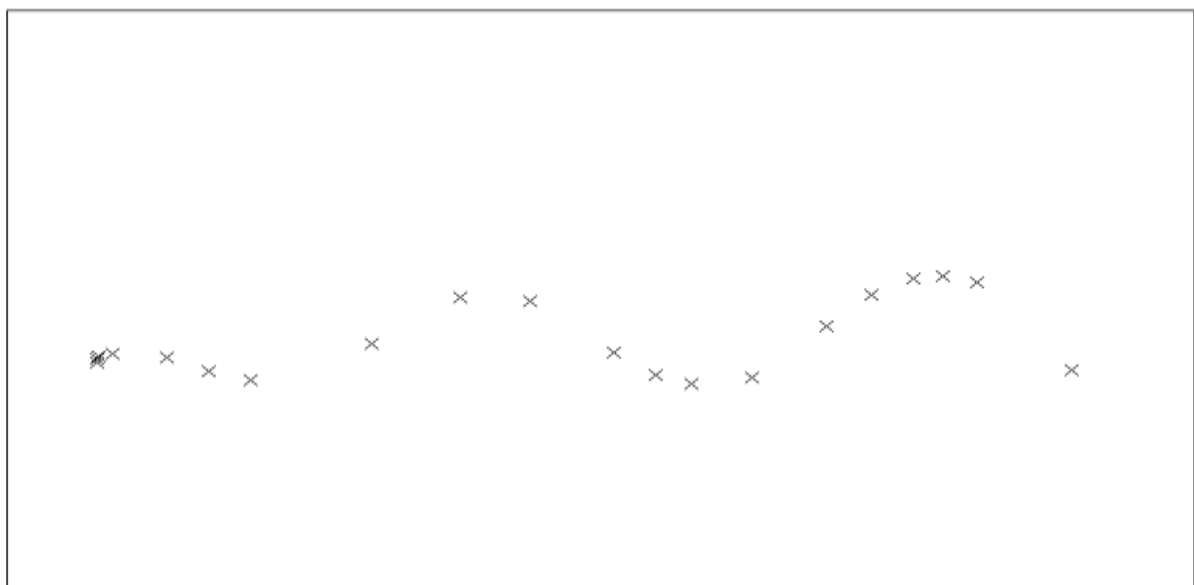
Gambar 3.23 Data GPS di Ms. Excel yang akan dipindah ke Autocad

Setelah data GPS sumbu x dan sumbu y digabungkan, kemudian data pada kolom E siap untuk digambar menjadi point point pada autocad. Cara memasukkan data pada kolom E ke dalam Autocad adalah dengan menambahkan kolom lagi di sebelah kiri kolom E dan diberi tulisan PO yang berarti point pada keseluruhan kolom tersebut dari atas sampai bawah koordinat terakhir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	waktu	sumbu x	sumbu y	sudut rudder	point	sumbu x, sumbu y										
2	0	0	-4.3301	0	po	0,-4.3301										
3	1	0.9993	-4.3026	20	po	0.9993,-4.3026										
4	2	1.9921	-4.1848	20	po	1.9921,-4.1848										
5	3	2.9701	-3.9781	20	po	2.9701,-3.9781										
6	4	3.9248	-3.6819	20	po	3.9248,-3.6819										
7	5	4.8464	-3.2948	20	po	4.8464,-3.2948										
8	6	5.7289	-2.8251	20	po	5.7289,-2.8251										
9	7	6.5721	-2.2881	20	po	6.5721,-2.2881										
10	8	7.3797	-1.6985	20	po	7.3797,-1.6985										
11	9	8.1581	-1.0707	20	po	8.1581,-1.0707										
12	10	8.9151	-0.4173	20	po	8.9151,-0.4173										
13	11	9.6592	0.2507	20	po	9.6592,0.2507										
14	12	10.3995	0.9229	20	po	10.3995,0.9229										
15	13	11.1448	1.5896	20	po	11.1448,1.5896										
16	14	11.9041	2.2405	20	po	11.9041,2.2405										
17	15	12.6846	2.8854	20	po	12.6846,2.8854										
18	16	13.4912	3.4563	20	po	13.4912,3.4563										
19	17	14.3271	4.0031	20	po	14.3271,4.0031										
20	18	15.1941	4.5029	20	po	15.1941,4.5029										
21	19	16.0929	4.9407	20	po	16.0929,4.9407										
22	20	17.0223	5.3092	20	po	17.0223,5.3092										
23	21	17.9792	5.5983	20	po	17.9792,5.5983										
24	22	18.9589	5.7971	20	po	18.9589,5.7971										
25	23	19.9535	5.8968	20	po	19.9535,5.8968										
26	24	20.9531	5.8981	20	po	20.9531,5.8981										

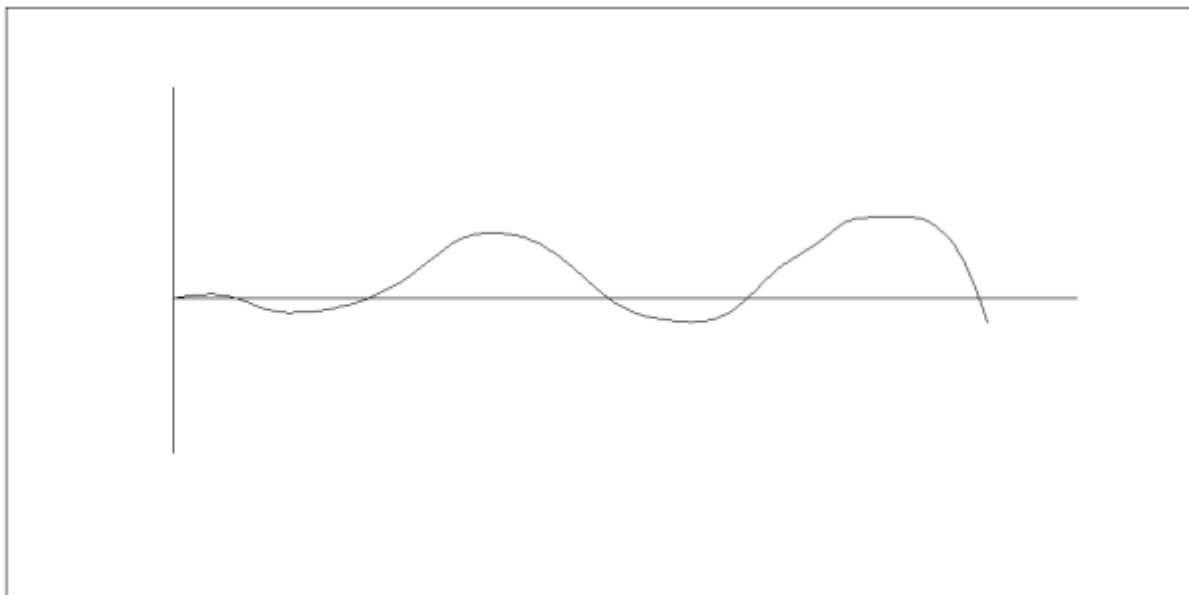
Gambar 3.24 Data GPS di Ms. Excel yang akan dipindah ke Autocad

Kemudian copy kolom E dan kolom F dari Ms. Excel, paste pada command line di dalam program autocad. Sehingga muncul titik-titik koordinat pada lembar kerja autocad.



Gambar 3.25 Data GPS telah dipindah ke dalam Autocad

Data koordinat GPS yang telah dimasukkan dalam autocad masih berupa titik-titik. Untuk mengetahui bentuk lintasannya, maka menggunakan perintah *SPLINE* dengan menyatukan titik-titik tersebut dari awal sampai akhir sehingga membentuk lintasan model kapal yang sebenarnya.

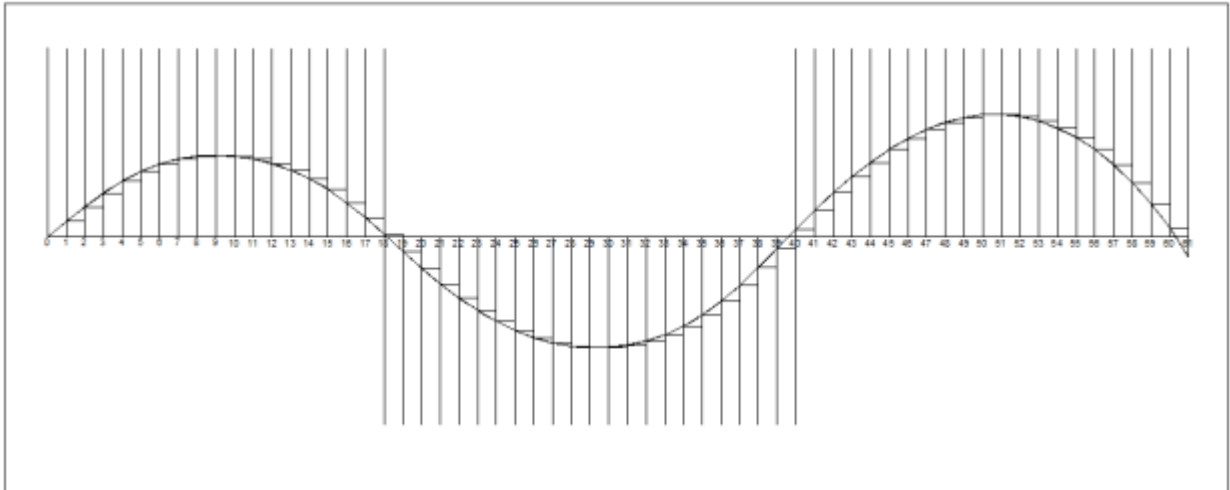


Gambar 3.26 Lintasan olah gerak zig zag

Pengolahan data koordinat GPS dilakukan ke 4 jenis data. Data pertama adalah olah gerak zig zag dengan kemudi konvensional trapesium dengan sudut kemudi $10^{\circ}/10^{\circ}$. Data kedua adalah olah gerak zig zag dengan kemudi konvensional trapesium dengan sudut kemudi $20^{\circ}/20^{\circ}$. Data ketiga adalah olah gerak zig zag dengan kemudi berbentuk *lanceolate* dengan sudut kemudi $10^{\circ}/10^{\circ}$. Data keempat adalah olah gerak zig zag dengan kemudi berbentuk *lanceolate* dengan sudut kemudi $20^{\circ}/20^{\circ}$.

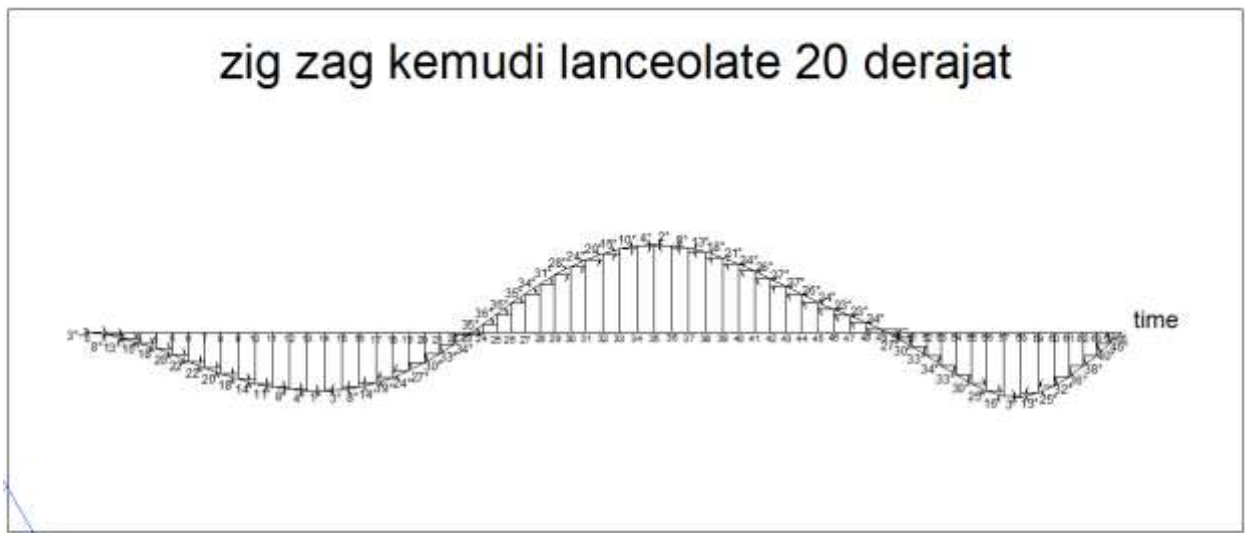
Setelah didapatkan bentuk lintasan, diukur panjang lintasan yang berbentuk kurva sinusoidal dengan dan kemudian dibagi dengan kecepatan kapal sebesar 1 m/s, sehingga diperoleh waktu yang dibutuhkan kapal untuk melakukan olah gerak zig zag sesuai lintasan.

Panjang lintasan kemudian dibagi menjadi persatuan meter dari awal hingga akhir, untuk mengetahui posisi kemiringan arah kapal terhadap sudut mula-mula kapal. Posisi kemiringan dicek dalam autocad menggunakan perintah *DIMENSION – ANGULAR*. Sehingga diketahui sudut arah hadap kapal tiap detiknya.



Gambar 3.27 Membagi lintasan kapal per detik

Setelah diketahui arah sudut hadap kapal sepanjang lintasan, sudut digambar lagi ke dalam autocad menjadi titik titik koordinat dengan sumbu x adalah fungsi waktu dan sumbu y adalah fungsi sudut.



Gambar 3.28 Kurva yang menghubungkan antara waktu tempuh dan sudut arah kapal

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Pengujian Zig Zag pada Model Kapal Perang kelas SIGMA

Bab ini mendeskripsikan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan hasil eksperimen. Analisa awal disajikan performa pengujian kapal meliputi uji *zig-zag*. Hasil evaluasi kriteria kapal menggunakan standar yang telah ditetapkan IMO, resolusi MSC.137 (76) tahun 2002 mengenai standar kemampuan manuver kapal.

Pengujian kapal prototype dilakukan di kolam delapan yang terletak di depan Jurusan Statistika - ITS pada rentang bulan Januari 2015 hingga Mei 2015. Pengujian dilakukan pada pukul 07.00-11.00 dan 14.00-17.00. Pengujian dilakukan pada jam tertentu karena melihat kondisi angin dan perairan yang tenang pada saat jam tersebut. Keseluruhan percobaan ini menggunakan satu variasi kecepatan rata-rata 1 m/s. Tahap persiapan awal pengujian ini adalah dengan mengintegrasikan seluruh komponen instrumen yang terpasang dan memastikan kapasitas baterai dalam keadaan lebih dari 80%. Tahap kedua adalah menjalankan *software* pada computer *client* kemudian melakukan pengaturan komunikasi port serial dan IP-port *wireless* VPN, pada computer *server* hanya dilakukan pengaturan IP-port *wireless* VPN. Untuk memastikan sistem instrument ini berjalan dengan baik, maka masing-masing diberi masukan sinyal control apakah masukan yang diberikan sesuai dengan respon dan apakah informasi sensor yang ditampilkan sesuai dengan kondisi kapal.

Setelah tahap persiapan selesai, selanjutnya adalah pengujian utama *zig-zag* dengan menetapkan set point *heading* kapal. Menentukan set point *heading* kapal pada *zig-zag* ini penting guna memberi masukan pada *software* berapa kali jumlah yang diinginkan.

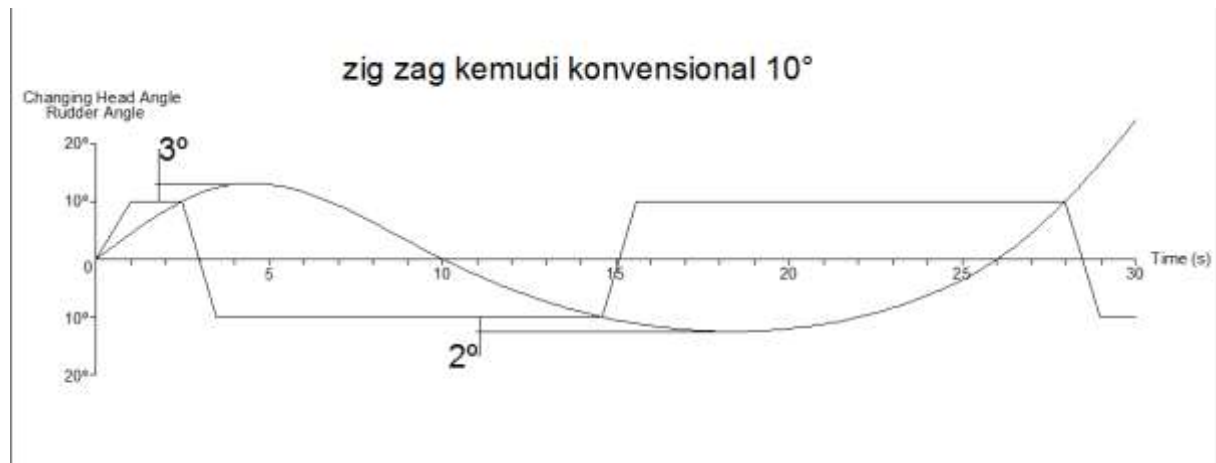
IV.2. Hasil Pengujian Zig Zag Kemudi Konvensional

Pengujian pertama dilakukan menggunakan model kapal perang kelas SIGMA dengan olah gerak zig zag. Sudut *rudder* yang digunakan sebesar 10 derajat kearah *port* dan *starboard* menggunakan kemudi konvensional berbentuk trapesium. Dari data pengujian *zig-zag* 10 derajat diketahui sudut *overshoot* pertama nilainya yaitu 3° pada detik ke 4. Sedangkan pada sudut *overshoot* kedua nilainya 2° yaitu pada detik ke 20 dari awal kapal bergerak. Sudut *overshoot* kedua mendapat nilai lebih kecil daripada sudut *overshoot* pertama, karena saat melakukan belokan ketiga, kapal mendapat gaya aliran air kolam yang terpantul dari pinggir kolam. Tindakan ini sebenarnya sudah diantisipasi, namun bentuk kolam yang menyempit di tengah, membuat pantulan terus terjadi.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 10 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi konvensional trapesium.

waktu	sumbu x	sumbu y	yaw kapal	sudut rudder
0	0	-0.3041	0	0
1	0.9988	-0.2676	2	10
2	1.9888	-0.1286	8	10
3	2.9676	0.0757	12	10
4	3.9408	0.3056	13	-10
5	4.9171	0.5217	12	-10
6	5.9021	0.6938	10	-10
7	6.8941	0.8191	7	-10
8	7.8908	0.8998	5	-10
9	8.8899	0.9397	2	-10
10	9.8899	0.9417	0	-10
11	10.8893	0.9094	-2	-10
12	11.8873	0.8464	-4	-10
13	12.8831	0.7562	-5	-10
14	13.8766	0.6422	-7	-10
15	14.8675	0.5078	-8	10
16	15.8559	0.3562	-9	10
17	16.8421	0.1905	-10	10
18	17.8264	0.0137	-10	10
19	18.8091	-0.1713	-11	10
20	19.7908	-0.3721	-12	10
21	20.7721	-0.5549	-11	10
22	21.7532	-0.7479	-11	10
23	22.7353	-0.9361	-11	10
24	23.7223	-1.0959	-9	10

25	24.7174	-1.1928	-6	10
26	25.7167	-1.1871	0	10
27	26.7049	-1.0401	8	10
28	27.6654	-0.7637	16	10
29	28.5982	-0.4038	21	-10
30	29.5131	0	24	-10



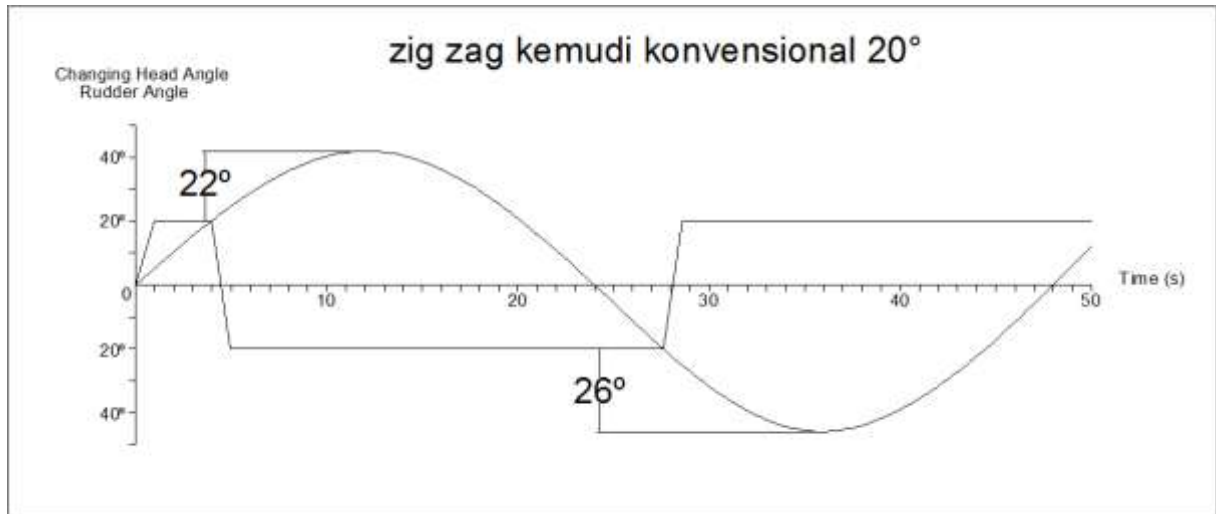
Gambar 4.1 Hasil Pengujian Zig Zag 10 derajat Kemudi Konvensional

Selanjutnya, untuk pengujian kedua. Model kapal perang kelas SIGMA ini dilakukan pengujian olah gerak zig zag dengan sudut *rudder* sebesar 20 derajat menggunakan kemudi konvensional berbentuk trapesium. Hasil data pengujian zig-zag 20 derajat menunjukkan sudut *overshoot* pertama bernilai 22° pada detik ke 12. Saat sudut *overshoot* kedua nilainya adalah 26° pada detik ke 36.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 20 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi konvensional trapesium.

waktu	sumbu x	sumbu y	yaw kapal	sudut rudder
0	0	-4.3301	0	0
1	0.9993	-4.3026	2	20
2	1.9921	-4.1848	7	20
3	2.9701	-3.9781	12	20
4	3.9248	-3.6819	17	20
5	4.8464	-3.2948	23	-20
6	5.7289	-2.8251	28	-20
7	6.5721	-2.2881	33	-20

8	7.3797	-1.6985	36	-20
9	8.1581	-1.0707	39	-20
10	8.9151	-0.4173	41	-20
11	9.6592	0.2507	42	-20
12	10.3995	0.9229	42	-20
13	11.1448	1.5896	42	-20
14	11.9041	2.2405	41	-20
15	12.6846	2.8654	39	-20
16	13.4912	3.4563	36	-20
17	14.3271	4.0051	33	-20
18	15.1941	4.5029	30	-20
19	16.0929	4.9407	26	-20
20	17.0223	5.3092	22	-20
21	17.9792	5.5983	17	-20
22	18.9589	5.7971	11	-20
23	19.9535	5.8968	6	-20
24	20.9531	5.8981	0	-20
25	21.9483	5.8042	-5	-20
26	22.9302	5.6168	-11	-20
27	23.8896	5.3364	-16	-20
28	24.8165	4.9621	-22	20
29	25.7014	4.4971	-28	20
30	26.5419	3.9558	-33	20
31	27.3403	3.3539	-37	20
32	28.1021	2.7062	-40	20
33	28.8343	2.0253	-43	20
34	29.5455	1.3224	-45	20
35	30.2441	0.6069	-46	20
36	30.9389	-0.1123	-46	20
37	31.6388	-0.8265	-46	20
38	32.3515	-1.5281	-45	20
39	33.0813	-2.2116	-43	20
40	33.8223	-2.8719	-41	20
41	34.6076	-3.5034	-39	20
42	35.4098	-4.1002	-37	20
43	36.2407	-4.6565	-34	20
44	37.1021	-5.1641	-31	20
45	37.9958	-5.6123	-27	20
46	38.9216	-5.9895	-22	20
47	39.8772	-6.2829	-17	20
48	40.8576	-6.4773	-11	20
49	41.8541	-6.5525	-4	20
50	42.8511	-6.4881	4	20



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Zig Zag 20 derajat Kemudi Konvensional

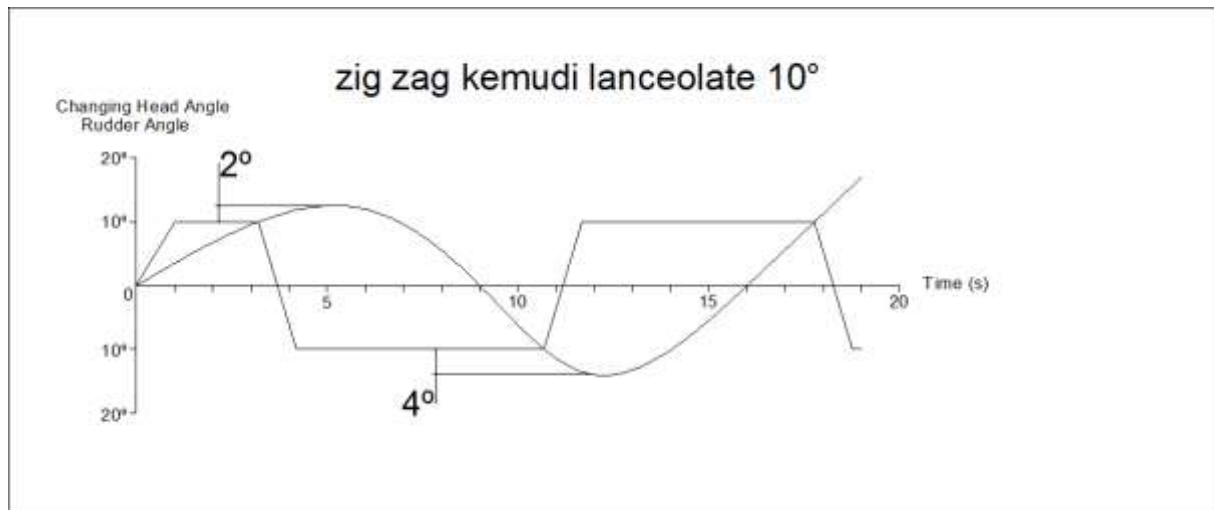
IV.3. Hasil Pengujian Zig Zag Kemudi *Lanceolate*

Pada pengujian ketiga, Kapal perang kelas SIGMA masih diberi perlakuan olah gerak zig zag dengan sudut *rudder* sebesar 10 derajat. Namun menggunakan kemudi yang berbeda dari pengujian pertama dan kedua. Kemudi yang digunakan berbentuk ekor ikan *lanceolate*. Hasil data pengujian zig-zag 10 derajat diketahui sudut *overshoot* pertama nilainya yaitu 2° pada detik ke 6. Sedangkan sudut *overshoot* kedua nilainya 4° yaitu pada detik ke 12.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 10 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi *lanceolate*.

waktu	sumbu x	sumbu y	yaw kapal	sudut rudder
0	0	-0.2764	0	0
1	0.9998	-0.2603	1	10
2	1.9992	-0.2282	2	10
3	2.9968	-0.1587	4	10
4	3.9925	-0.0561	6	10
5	4.9873	0.1157	10	-10
6	5.9825	0.3227	12	-10
7	6.9794	0.4751	9	-10
8	7.9784	0.5562	5	-10
9	8.9782	0.5532	0	-10
10	9.9759	0.4881	-4	-10
11	10.9686	0.3084	-10	-10
12	11.9576	0.0556	-14	10

13	12.9463	-0.1394	-11	10
14	13.9383	-0.2656	-7	10
15	14.9351	-0.3379	-4	10
16	15.9347	-0.3625	-1	10
17	16.9327	-0.3046	3	10
18	17.9212	-0.1763	7	10
19	18.8901	0	10	-10



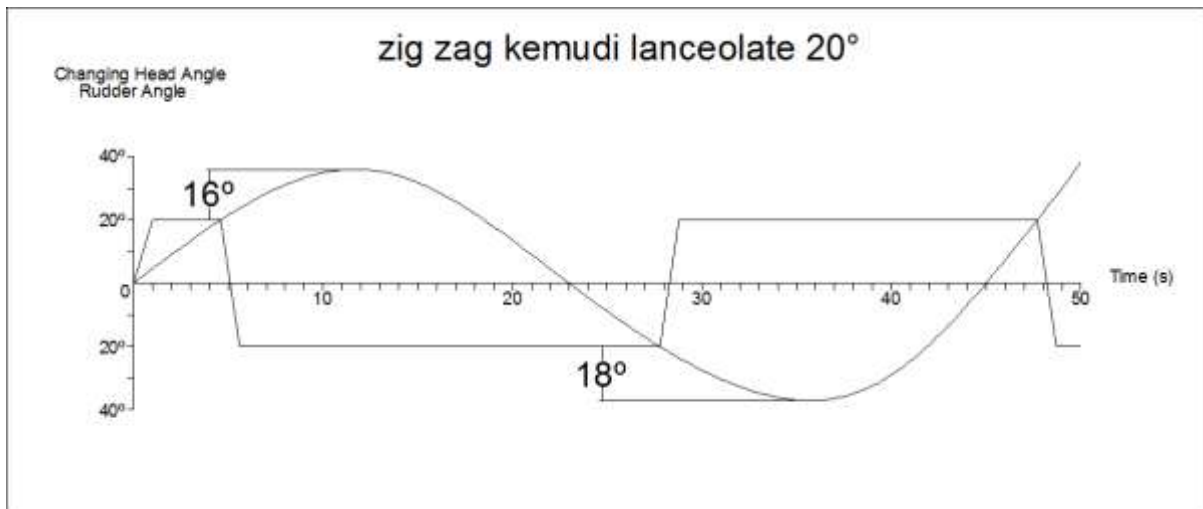
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Zig Zag 10 derajat Kemudi *Lanceolate*

Pengujian keempat yang juga sebagai variasi akhir dari penelitian ini. Kapal perang kelas SIGMA ini diuji olah gerak zig zag dengan sudut *rudder* sebesar 20 derajat menggunakan kemudi ekor ikan berbentuk *lanceolate*. Dari hasil data pengujian zig-zag 20 derajat diketahui sudut *overshoot* pertama nilainya yaitu 16° pada detik ke 12. Sedangkan pada sudut *overshoot* kedua nilainya 18° yaitu pada detik ke 36.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian olah gerak zig zag 20 derajat pada Model Kapal Perang SIGMA dengan kemudi *lanceolate*.

waktu	sumbu x	sumbu y	yaw kapal	sudut rudder
0	0	-3.3879	0	0
1	0.9997	-3.3704	1	20
2	1.9976	-3.3099	3	20
3	2.9867	-3.1651	8	20
4	3.9574	-2.9263	14	20
5	4.9024	-2.6001	19	20
6	5.8188	-2.2003	24	-20

7	6.7071	-1.7411	27	-20
8	7.5698	-1.2359	30	-20
9	8.4117	-0.6963	33	-20
10	9.2376	-0.1326	34	-20
11	10.0533	0.4461	35	-20
12	10.8643	1.0309	36	-20
13	11.6767	1.6141	36	-20
14	12.4964	2.1869	35	-20
15	13.3298	2.7394	34	-20
16	14.1841	3.2593	31	-20
17	15.0646	3.7328	28	-20
18	15.9753	4.1453	24	-20
19	16.9164	4.4825	20	-20
20	17.8835	4.7356	15	-20
21	18.8694	4.9006	10	-20
22	19.8665	4.9718	4	-20
23	20.8655	4.9412	-2	-20
24	21.8555	4.8034	-8	-20
25	22.8278	4.5711	-13	-20
26	23.7788	4.2625	-18	-20
27	24.7091	3.8961	-21	-20
28	25.6222	3.4884	-24	-20
29	26.5231	3.0544	-26	20
30	27.4177	2.5776	-28	20
31	28.3125	2.0651	-30	20
32	29.2139	1.5281	-31	20
33	30.1272	0.9409	-33	20
34	31.0479	0.3007	-35	20
35	31.9677	-0.3804	-37	20
36	32.8781	-1.0858	-38	20
37	33.7704	-1.7506	-37	20
38	34.6357	-2.3715	-36	20
39	35.4761	-2.9495	-35	20
40	36.3073	-3.5013	-34	20
41	37.1462	-4.0396	-33	20
42	38.0097	-4.5435	-30	20
43	38.9149	-4.9573	-25	20
44	39.8728	-5.2288	-16	20
45	40.8683	-5.2823	-3	20
46	41.8395	-5.0566	13	20
47	42.7444	-4.6335	25	20
48	43.5901	-4.1102	32	20
49	44.3956	-3.5281	36	-20
50	45.1797	-2.9174	38	-20



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Zig Zag 20 derajat Kemudi *Lanceolate*

IV.4. Evaluasi Kriteria Hasil Eksperimen Pengujian Zig Zag

Evaluasi kriteria hasil pengujian kapal digunakan untuk mengindikasikan bahwa seberapa baik kemudi dan performa kontrol penggerak *rudder* selama proses olah gerak zigzag dengan variasi 2 jenis kemudi. Evaluasi kriteria kapal ini telah ditetapkan oleh IMO, resolusi MSC.137 (76) tahun 2002 mengenai standar kemampuan manuver kapal. Bila data hasil pengujian menunjukkan nilai yang lebih besar dari kriteria yang telah ditetapkan oleh IMO, maka kemudi tidak memberikan performa yang baik untuk model kapal perang kelas SIGMA. Sedangkan, jika hasil pengujian menunjukkan nilai yang lebih kecil dari standar dalam resolusi IMO tentang kemampuan manuver kapal, maka kemudi memberikan pengaruh yang baik terhadap kemampuan manuver kapal.

Rangkuman Hasil Eksperimen Pengujian olah gerak zig zag pada model Kapal Perang kelas SIGMA ditampilkan dalam tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 Hasil Evaluasi Pengujian olah gerak zig zag pada Model Kapal Perang SIGMA terhadap Standar IMO dengan kemudi konvensional trapesium.

Pengujian	Kriteria	Hasil Eksperimen	Standar IMO	Keterangan
<i>Zig-zag</i> 10 derajat	<i>Overshoot</i> pertama	3 derajat	10 derajat	Memenuhi Standar
	<i>Overshoot</i> kedua	2 derajat	25 derajat	Memenuhi Standar
<i>Zig-zag</i> 20 derajat	<i>Overshoot</i> pertama	22 derajat	25 derajat	Memenuhi Standar

Tabel 4.6 Hasil Evaluasi Pengujian olah gerak zig zag pada Model Kapal Perang SIGMA terhadap Standar IMO dengan kemudi *lanceolate*.

Pengujian	Kriteria	Hasil Eksperimen	Standar IMO	Keterangan
<i>Zig-zag</i> 10 derajat	<i>Overshoot</i> pertama	2 derajat	10 derajat	Memenuhi Standar
	<i>Overshoot</i> kedua	4 derajat	25 derajat	Memenuhi Standar
<i>Zig-zag</i> 20 derajat	<i>Overshoot</i> pertama	16 derajat	25 derajat	Memenuhi Standar

Hasil Penelitian pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 menunjukkan bahwa performa dari kedua jenis kemudi memberikan hasil yang berbeda dari tiap sudut kemudi yang diberikan.

Pada olah gerak zig zag 10 derajat menunjukkan bahwa kemudi konvensional trapesium menghasilkan sudut *overshoot* pertama dan kedua yang lebih kecil dari sudut *overshoot* kemudi *lanceolate*. Hal ini menunjukkan bahwa respon kapal lebih cepat terhadap perintah kontrol yang diberikan melalui sudut kemudi konvensional trapesium, sehingga

kesimpulannya kemudi konvensional trapesium lebih baik dalam memberikan respon ke pergerakan kapal, daripada kemudi *lanceolate* dalam olah gerak zig zag 10 derajat.

Pada olah gerak zig zag 20 derajat menunjukkan bahwa kemudi *lanceolate* menghasilkan sudut *overshoot* pertama yang lebih kecil dari sudut *overshoot* kemudi konvensional trapesium. Hal ini mengindikasikan bahwa kapal merespon lebih cepat terhadap perintah kontrol yang diberikan melalui sudut kemudi *lanceolate*, sehingga bisa diambil kesimpulan bahwa kemudi *lanceolate* lebih baik dalam memberikan respon ke pergerakan kapal, daripada kemudi konvensional trapesium dalam olah gerak zig zag 20 derajat.

LAMPIRAN

[illegible]

	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.183568	-0.02546
	0.372746	-1.36049
	0.372746	-1.36049
	0.372746	-1.36049
	0.372746	-1.36049
	0.372746	-1.36049
	0.372746	-1.36049
	0.710765	-3.74588
	0.710765	-3.74588
	0.710765	-3.74588
	0.710765	-3.74588
	0.710765	-3.74588
	0.710765	-3.74588
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.154512	-11.036
	0.923786	-15.3015
	0.923786	-15.3015
	0.923786	-15.3015

[illegible]

Data GPS Hasil Pengujian Olah Gerak ZigZag 20 derajat kemudi konvensional

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

-1.99157	-14.0898
-1.99157	-14.0898
-1.99157	-14.0898
-1.99157	-14.0898
-1.99157	-14.0898
-1.99157	-14.0898
-1.99157	-14.0898
-1.99157	-14.0898
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
2.0641	-25.2799
7.375289	-33.439
7.375289	-33.439
7.375289	-33.439
7.375289	-33.439
7.375289	-33.439
7.375289	-33.439
7.375289	-33.439
7.750281	-36.6524
7.750281	-36.6524
7.750281	-36.6524
7.750281	-36.6524
7.750281	-36.6524
7.750281	-36.6524
7.750281	-36.6524
6.953629	-39.8649
6.953629	-39.8649
6.953629	-39.8649
6.953629	-39.8649
6.953629	-39.8649
6.953629	-39.8649
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246

1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
1.114534	-47.6246
-1.42785	-51.4692
-1.42785	-51.4692
-1.42785	-51.4692
-1.42785	-51.4692
-1.42785	-51.4692
-1.42785	-51.4692
-1.42785	-51.4692
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-2.4608	-54.8016
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
-1.70549	-60.3222
4.058399	-67.2398
4.058399	-67.2398
4.058399	-67.2398
4.058399	-67.2398
4.058399	-67.2398
4.058399	-67.2398
7.662826	-71.4326
7.662826	-71.4326
7.662826	-71.4326

[illegible]

Data GPS Hasil Pengujian Olah Gerak ZigZag 10 derajat kemudi lanceolate

sumbu x	sumbu y
0	0
-0.94743	-6.49499
-0.94743	-6.49499
-0.94743	-6.49499
-0.94743	-6.49499
-0.94743	-6.49499
-0.94743	-6.49499
-0.94743	-6.49499
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-1.13194	-10.2151
-0.5767	-18.4249
-0.5767	-18.4249
-0.5767	-18.4249
-0.5767	-18.4249
-0.5767	-18.4249
-0.5767	-18.4249
-0.5767	-18.4249
-1.14164	-22.7914
-1.14164	-22.7914
-1.14164	-22.7914
-1.14164	-22.7914
-1.14164	-22.7914
-1.14164	-22.7914
-1.14164	-22.7914
-0.95725	-26.8809
-0.95725	-26.8809
-0.95725	-26.8809
-0.95725	-26.8809
-0.95725	-26.8809
-0.95725	-26.8809
0.493903	-31.4788

Data GPS Hasil Pengujian Olah Gerak ZigZag 20 derajat kemudi lanceolate

[illegible]

[illegible]

-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-1.41735	-9.0924
-2.18974	-13.1805
-2.18974	-13.1805
-2.18974	-13.1805
-2.18974	-13.1805
-2.18974	-13.1805
-2.18974	-13.1805
-2.18974	-13.1805
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
-2.00524	-16.9006
3.060578	-25.8988
3.060578	-25.8988
3.060578	-25.8988
3.060578	-25.8988
3.060578	-25.8988
3.060578	-25.8988
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.416547	-30.4115
5.982699	-34.5971
5.982699	-34.5971
5.982699	-34.5971

5.982699	-34.5971
5.982699	-34.5971
5.982699	-34.5971
5.982699	-34.5971
5.982699	-34.5971
2.761542	-43.2568
2.761542	-43.2568
2.761542	-43.2568
2.761542	-43.2568
2.761542	-43.2568
2.761542	-43.2568
2.761542	-43.2568
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
0.474941	-48.0978
-2.69113	-54.8006
-2.69113	-54.8006
-2.69113	-54.8006
-2.69113	-54.8006
-2.69113	-54.8006
-2.69113	-54.8006
-0.79864	-58.378
-0.79864	-58.378
-0.79864	-58.378
-0.79864	-58.378
-0.79864	-58.378
-0.79864	-58.378
2.390812	-61.5934
2.390812	-61.5934
2.390812	-61.5934
2.390812	-61.5934
2.390812	-61.5934
2.390812	-61.5934
6.743319	-63.9561
6.743319	-63.9561

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]



Gambar Persiapan Pengujian Olah Gerak ZigZag



Gambar Pengujian Olah Gerak ZigZag

ANNEX 6

**RESOLUTION MSC.137(76)
(adopted on 4 December 2002)**

STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY

THE MARITIME SAFETY COMMITTEE,

RECALLING Article 28(b) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Committee,

RECALLING ALSO that by resolution A.751(18) the Assembly approved Interim Standards for ship manoeuvrability (the Interim standards), whereby Governments were recommended to encourage those responsible for the design, construction, repair and operation of ships to apply the Interim Standards and invited to collect data obtained by the application of the Interim Standards and report them to the Organization,

RECALLING FURTHER that by circular MSC/Circ.1053 the Committee approved Explanatory notes to the Standards for ship manoeuvrability, to provide Administrations with specific guidance so that adequate data may be collected by the Organization on the manoeuvrability of ships,

RECOGNIZING the manoeuvring capability of ships to be an important contribution to the safety of navigation,

BELIEVING that the development and implementation of standards for ship manoeuvrability, particularly for large ships and ships carrying dangerous goods in bulk, will improve maritime safety and enhance marine environmental protection,

HAVING CONSIDERED the recommendation made by the Sub-Committee on Ship Design and Equipment at its forty-fifth session,

1. ADOPTS the Standards for ship manoeuvrability, the text of which is set out in the Annex to the present resolution;
2. INVITES Governments to encourage those responsible for the design, construction, repair and operation of ships to apply the Standards to ships constructed on or after 1 January 2004;
3. RESOLVES that the provisions annexed to the present resolution supersede the provisions annexed to resolution A.751(18).

ANNEX

STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY

1 PRINCIPLES

1.1 The Standards for ship manoeuvrability (the Standards) should be used to evaluate the manoeuvring performance of ships and to assist those responsible for the design, construction, repair and operation of ships.

1.2 It should be noted that the Standards were developed for ships with traditional propulsion and steering systems (e.g. shaft driven ships with conventional rudders). Therefore, the Standards and methods for establishing compliance may be periodically reviewed and updated by the Organization, as appropriate, taking into account new technologies, research and development, and the results of experience with the present Standards.

2 GENERAL

2.1 The Standards contained in this document are based on the understanding that the manoeuvrability of ships can be evaluated from the characteristics of conventional trial manoeuvres. The following two methods can be used to demonstrate compliance with these Standards:

- .1 scale model tests and/or computer predictions using mathematical models can be performed to predict compliance at the design stage. In this case full-scale trials should be conducted to validate these results. The ship should then be considered to meet these Standards regardless of full-scale trial results, except where the Administration determines that the prediction efforts were substandard and/or the ship performance is in substantial disagreement with these Standards; and
- .2 the compliance with the Standards can be demonstrated based on the results of the full-scale trials conducted in accordance with the Standards. If a ship is found in substantial disagreement with the Standards, then the Administration should take remedial action, as appropriate.

3 APPLICATION

3.1 Notwithstanding the points raised in paragraph 1.2 above, the Standards should be applied to ships of all rudder and propulsion types, of 100 m in length and over, and chemical tankers and gas carriers regardless of the length.

3.2 In the event that the ships referred to in paragraph 3.1 above undergo repairs, alterations or modifications, which, in the opinion of the Administration, may influence their manoeuvrability characteristics, the continued compliance with the Standards should be verified.

3.3 Whenever other ships, originally not subject to the Standards, undergo repairs, alterations or modifications, which, in the opinion of the Administration, are of such an extent that the ship may be considered to be a new ship, then that ship should comply with these Standards. Otherwise, if the repairs, alterations and modifications, in the opinion of the Administration, may influence the manoeuvrability characteristics, it should be demonstrated that these characteristics do not lead to any deterioration of the manoeuvrability of the ship.

3.4 The Standards should not be applied to high-speed craft as defined in the relevant Code.

4 DEFINITIONS

4.1 Geometry of the ship

4.1.1 *Length (L)* is the length measured between the aft and forward perpendiculars.

4.1.2 *Midship point* is the point on the centreline of a ship midway between the aft and forward perpendiculars.

4.1.3 *Draught (T_a)* is the draught at the aft perpendicular.

4.1.4 *Draught (T_f)* is the draught at the forward perpendicular.

4.1.5 *Mean draught (T_m)* is defined as $T_m = (T_a + T_f)/2$.

4.1.6 *Trim (τ)* is defined as $\tau = (T_a - T_f)$.

4.1.7 Δ is the full load displacement of the ship (tonnes).

4.2 Standard manoeuvres and associated terminology

Standard manoeuvres and associated terminology are as defined below:

- .1 The test speed (V) used in the Standards is a speed of at least 90% of the ship's speed corresponding to 85% of the maximum engine output.
- .2 Turning circle manoeuvre is the manoeuvre to be performed to both starboard and port with 35° rudder angle or the maximum rudder angle permissible at the test speed, following a steady approach with zero yaw rate.
- .3 Advance is the distance travelled in the direction of the original course by the midship point of a ship from the position at which the rudder order is given to the position at which the heading has changed 90° from the original course.
- .4 Tactical diameter is the distance travelled by the midship point of a ship from the position at which the rudder order is given to the position at which the heading has changed 180° from the original course. It is measured in a direction perpendicular to the original heading of the ship.
- .5 Zig-zag test is the manoeuvre where a known amount of helm is applied alternately to either side when a known heading deviation from the original heading is reached.
- .6 The 10°/10° zig-zag test is performed by turning the rudder alternately by 10° to either side following a heading deviation of 10° from the original heading in accordance with the following procedure:

- .1 after a steady approach with zero yaw rate, the rudder is put over to 10° to starboard or port (first execute);
- .2 when the heading has changed to 10° off the original heading, the rudder is reversed to 10° to port or starboard (second execute); and
- .3 after the rudder has been turned to port/starboard, the ship will continue turning in the original direction with decreasing turning rate. In response to the rudder, the ship should then turn to port/starboard. When the ship has reached a heading of 10° to port/starboard of the original course the rudder is again reversed to 10° to starboard/port (third execute).
- .7 The first overshoot angle is the additional heading deviation experienced in the zig-zag test following the second execute.
- .8 The second overshoot angle is the additional heading deviation experienced in the zig-zag test following the third execute.
- .9 The 20°/20° zig-zag test is performed using the procedure given in paragraph 4.2.6 above using 20° rudder angles and 20° change of heading, instead of 10° rudder angles and 10° change of heading, respectively.
- .10 Full astern stopping test determines the track reach of a ship from the time an order for full astern is given until the ship stops in the water.
- .11 Track reach is the distance along the path described by the midship point of a ship measured from the position at which an order for full astern is given to the position at which the ship stops in the water.

5 STANDARDS

5.1 The standard manoeuvres should be performed without the use of any manoeuvring aids which are not continuously and readily available in normal operation.

5.2 Conditions at which the standards apply

In order to evaluate the performance of a ship, manoeuvring trials should be conducted to both port and starboard and at conditions specified below:

- .1 deep, unrestricted water;
- .2 calm environment;
- .3 full load (summer load line draught), even keel condition; and
- .4 steady approach at the test speed.

5.3 Criteria*

The manoeuvrability of the ship is considered satisfactory if the following criteria are complied with:

.1 Turning ability

The advance should not exceed 4.5 ship lengths (L) and the tactical diameter should not exceed 5 ship lengths in the turning circle manoeuvre.

.2 Initial turning ability

With the application of 10° rudder angle to port/starboard, the ship should not have travelled more than 2.5 ship lengths by the time the heading has changed by 10° from the original heading.

.3 Yaw-checking and course-keeping abilities

.1 The value of the first overshoot angle in the 10°/10° zig-zag test should not exceed:

- .1 10° if L/V is less than 10 s;
 - .2 20° if L/V is 30 s or more; and
 - .3 $(5 + 1/2(L/V))$ degrees if L/V is 10 s or more, but less than 30 s,
- where L and V are expressed in m and m/s, respectively.

.2 The value of the second overshoot angle in the 10°/10° zig-zag test should not exceed:

- .1 25°, if L/V is less than 10 s;
- .2 40°, if L/V is 30 s or more; and
- .3 $(17.5 + 0.75(L/V))^\circ$, if L/V is 10 s or more, but less than 30 s.

.3 The value of the first overshoot angle in the 20°/20° zig-zag test should not exceed 25°.

.4 Stopping ability

The track reach in the full astern stopping test should not exceed 15 ship lengths. However, this value may be modified by the Administration where ships of large displacement make this criterion impracticable, but should in no case exceed 20 ship lengths.

* For ships with non-conventional steering and propulsion systems, the Administration may permit the use of comparative steering angles to the rudder angles specified by this Standard.

6 ADDITIONAL CONSIDERATIONS

6.1 In case the standard trials are conducted at a condition different from those specified in paragraph 5.2.3, necessary corrections should be made in accordance with the guidelines contained in the Explanatory notes to the Standards for ship manoeuvrability, developed by the Organization.*

6.2 Where standard manoeuvres indicate dynamic instability, alternative tests may be conducted to define the degree of instability. Guidelines for alternative tests such as a spiral test or pull-out manoeuvre are included in the Explanatory notes to the Standards for ship manoeuvrability, referred to in paragraph 6.1 above.*

* Refer to MSC/Circ.1053 on Explanatory notes to the Standards for ship manoeuvrability.

BAB V

KESIMPULAN

V.1. Kesimpulan

Hasil pengujian maneuver menurut standar IMO resolusi MSC.137 (76) tahun 2002 mengenai standar kemampuan manuver kapal, dengan melakukan pengujian *open free running model test* pada model kapal perang di kolam terbuka adalah sebagai berikut.

- Pengujian *zig-zag* 10 derajat dengan kemudi tipe A (kemudi konvensional berbentuk trapesium) diperoleh sudut *overshoot* pertama sebesar 3 derajat dan sudut *overshoot* kedua sebesar 2 derajat, dan pengujian olah gerak *zig-zag* 20 derajat dengan kemudi tipe A diperoleh sudut *overshoot* pertama sebesar 22 derajat.
- Pengujian olah gerak *zig-zag* 10 derajat dengan kemudi tipe B (kemudi ekor ikan berbentuk *lanceolate*) diperoleh sudut *overshoot* pertama sebesar 2 derajat dan sudut *overshoot* kedua sebesar 4 derajat, dan pengujian olah gerak *zig-zag* 20 derajat dengan kemudi tipe B diperoleh sudut *overshoot* pertama sebesar 16 derajat.
- *Open Free Running Model Test* yang telah dilakukan dengan metode GPS ini telah membuktikan dapat memberikan hasil performa maneuver kapal untuk olah gerak zig zag yang cukup bagus.
- Performa manuver kemudi konvensional trapesium terbukti cukup bagus dibanding kemudi *lanceolate* dalam olah gerak zig zag

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Ridho. 2014. "*Pemodelan Kapal Perang Kelas SIGMA Extended Skala 3 Meter Berbasis Eksperimen*" Jurusan Teknik Fisika –Intitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Delftianto, Galuh Eko. 2015. "*Pengujian Gerak Turning Circle Pada Kapal Cepat Twin Screw Berkemudi Ekor Ikan Forked Menggunakan Teknik Open Free Running Test*" Jurusan Teknik Perkapalan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hariseputera, Rizky. 2009. "*Pengembangan Metodologi Open Free Running Model Test Pada Pengujian Prototipe Kemudi Ber-tail Flap*" Jurusan Teknik Perkapalan –Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Imron, Andre Tsani Stany. 2010. "*Pengujian Kemudi Single Flap Dalam Gerakan Zig-Zag Dengan Teknik Open Free Running Model Test*" Jurusan Teknik Perkapalan –Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- International Towing Tank Conference. 1996. "*Testing and Extrapolation Methods Maneuverability Free Running Model Tests*".
- International Towing Tank Conference. 2002. "*Full Scale Measurements Manoeuvrability Full Scale Manoeuvring Trials Procedure*".
- International Maritime Organization. 2002. "*Standarts for Ship Manoeuvrability*".
- Lewis, Edwards V. 1989. "*Principles of Naval Architecture Second Revision – Volume III Motions in Waves and Controlloability*", The Society of Naval Architecture and Marine Engineers, Jersey City.
- Watson, K. J. And Tupper, E. C. 2001. "*Basic Ship Teory – Volume 2 Ship Dynamics and Design*", Butterworth – Heinemenn, Oxford.

BIODATA PENULIS



Dilahirkan di Semarang pada 15 Januari 1991, Penulis merupakan anak pertama dari 4 bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar mulai TK di TK Hang Tuah III Surabaya. Melanjutkan SD di SD Hang Tuah VI Surabaya. Kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 1 Surabaya dan SMAN 2 Surabaya. Setelah lulus SMA pada tahun 2008, Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2008 melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) 2008.

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain aktif berkegiatan di berbagai Unit Kegiatan Mahasiswa dan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (Himatekpal), Penulis juga mempunyai banyak kegiatan di luar kampus yang berhubungan dengan *travelling*.

Email: the_shadow@na.its.ac.id

ekaprasetyasamodra@gmail.com